

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE
STOPNJE VODARSTVO IN
OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Kandidat/-ka:

TILEN KORANTER

**NAČRTOVANJE UKREPOV ZA ZAGOTOVITEV
PREHODNOSTI ZA VODNE ORGANIZME NA SAVI
BOHINJKI PRI JEZU HE SOTESKA**

**DESIGN OF MEASURES FOR ENSURING PASSABILITY FOR
AQUATIC ORGANISMS ON SAVA BOHINJKA RIVER AT
SOTESKA HPP DAM**

Mentor/-ica:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

viš. pred. mag. Jošt Sodnik

Član komisije:

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 626.882:627.8.01(497.4)(043.3)

Avtor: Tilen Koranter

Mentor: doc. dr. Andrej Kryžanowski

Somentor: viš. pred. mag. Jošt Sodnik, univ. dipl. inž. grad.

Naslov: Načrtovanje ukrepov za zagotovitev prehodnosti za vodne organizme na Savi Bohinjki pri jezu HE Soteska

Tip dokumenta: magistrsko delo

Obseg in oprema: 101 str., 37 preg., 53 sl., 10 pril.

Ključne besede: ribji prehod, prehodnost, vzdolžna povezanost, ribe, vodni organizmi, mala hidroelektrarna, HE Soteska, Sava Bohinjka, ekološko sprejemljivi pretok

Izvilleček

V magistrskem delu obravnavamo načrtovanje ukrepov za izboljšanje prehodnosti prečnih vodnogospodarskih objektov, s katerimi vplivamo tudi na izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov za vodne organizme. Magistrsko delo je strukturirano tako, da so v prvem delu obravnavana teoretična izhodišča, ki jih moramo upoštevati pri načrtovanju ukrepov za zagotavljanje prehodnosti na novih in obstoječih vodnogospodarskih objektih. Med njimi je izgradnja ribjega prehoda eden izmed najučinkovitejših ukrepov. V drugem delu smo na podlagi opisanih teoretičnih izhodišč izdelali idejno zasnovo ureditve prehodnosti za vodne organizme na Savi Bohinjki pri jezu HE Soteska, ki bi imela tudi velik pozitiven vpliv na vzdolžno povezanost celotnega vodotoka. Izdelali smo načrt ureditve odseka glavne struge in idejno zasnovo ribjega prehoda, ki ga sestavljata tehnični bazenski tip z vertikalnimi režami in sonaravno-tehnični bazenski tip. Delovanje ribjega prehoda je mogoče z izrabo dela ekološko sprejemljivega pretoka. Pri načrtovanju ureditve prehodnosti smo upoštevali ihtiološke dejavnike, ki jih določajo ribje vrste Save Bohinjke. Za zagotavljanje dodatne atrakcije na vhodu v ribji prehod in za izrabo preostalega dela ekološko sprejemljivega pretoka, ki se ne porabi za delovanje ribjega prehoda, smo ob izgradnji ribjega prehoda predvideli tudi izgradnjo male hidroelektrarne. Na koncu smo z analizo investicijskih stroškov celotne ureditve pokazali, da bi se celotni investicijski strošek zasnovane ureditve prehodnosti na odseku ob delovanju mHE povrnil v približno 16 letih. Izvedba načrtovane ureditve bi na obravnavanem odseku omogočila izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotoka za vse vodne organizme, hkrati pa je z možnostjo proizvodnje električne energije v mHE investicija približana potencialnemu investitorju.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 626.882:627.8.01(497.4)(043.3)
Author: Tilen Koranter
Supervisor: Assist. Prof. Andrej Kryžanowski, Ph.D.
Co-advisor: Sen. Lect. Jošt Sodnik, M.Sc.
Title: Design of measures for ensuring passability for aquatic organisms on Sava Bohinjka River at Soteska HPP Dam
Document Type: M. Sc. Thesis
Notes: 101 p., 37 tab., 53 fig., 10 ann.
Key words: fish pass, migration, longitudinal connectivity, fish, aquatic organisms, small hydropower plant, Soteska HPP, Sava Bohinjka, ecologically acceptable flow

Abstract

The master's thesis deals with the design of measures for improving passability at transverse river structures, which can also influence on the improvement of longitudinal connectivity of the river. The master's thesis is structured in such a way, that the first part deals with theoretical background, which must be taken into account at designing measures for ensuring migration at newly and at existing transverse river structures. Construction of the fish pass is one of the most effective measures. Based on the considered theoretical background, the conceptual design of the restoration of the passability on Sava Bohinjka River at Soteska HPP Dam was made in the second part of the thesis. Insured passability would have a great positive influence on the longitudinal connectivity of the entire river. In order to ensure passability at the dam, we designed a plan, which takes into account, first the restoration of passability of the main river section and second the conceptual design of the fish pass, consisting of a technical pool type with vertical slots and natural-technical pool type. The operation of fish pass is enabled by exploiting part of the ecologically acceptable flow. In designing the restoration of passability, the ichthyologic factors, determined by the fish species of Sava Bohinjka River, were taken into account. In order to provide additional attraction flow at the fish pass entrance and to use part of the ecologically acceptable flow, we planned the construction of small hydropower plant. Finally, by analysing the investment costs of the entire restoration of passability for aquatic organisms at the Soteska HPP Dam, we showed that the total investment cost of the design, which includes construction of small hydropower plant, would be refunded after approximately 16 years. The proposed design would have a positive influence on the improvement of the longitudinal connectivity of the river, and at the same time with the possibility of producing electricity in the small hydropower plant, the potential investor would more likely finance the investment.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč in usmerjanje pri nastajanju magistrskega dela se zahvaljujem mentorju doc. dr. Andreju Kryžanowskemu in somentorju viš. pred. mag. Joštu Sodniku. Prav tako se za strokovno svetovanje pri izdelavi magistrskega dela zahvaljujem ge. Maši Čarf in dr. Daši Zabric iz Zavoda za ribištvo Slovenije (ZZRS) ter g. Dušanu in g. Domnu Škarabotu iz podjetja HYDRO HIT d.o.o.

Zahvala gre tudi kolegom, s katerimi smo pred leti izvedli projekt Ocena stanja in predlogi izboljšav za prehodnost vodnih organizmov na Zgornji Savi, ki mi je dal pobudo za nastanek tega magistrskega dela.

Posebna zahvala gre očetu in mami, ki sta mi omogočila izobraževanje in sta mi vsa leta študija stala ob strani.

Hvala Valentini, brez nje marsikatera vejica ne bi našla svojega pravega mesta.

KAZALO VSEBINE

Stran za popravke, Errata	I
Bibliografsko-dokumentacijska stran in izvleček	II
Bibliographic-documentalistic information and abstract	III
Zahvala	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	IX
Kazalo slik	XI

1 UVOD	1
1.1 NAMEN IN STRUKTURA MAGISTRSKEGA DELA	2
2 TEORETIČNA IZHODIŠČA	3
2.1 VPLIV PREČNIH VODNIH OBJEKTOV NA VODNE ORGANIZME IN VZDOLŽNO POVEZANOST VODOTOKA	3
2.1.1 Vpliv pregrad na vodni ekosistem in organizme	3
2.1.2 Ribe kot bioindikatorji kvalitete vodnega okolja	4
2.1.3 Vpliv pregrad na migracije, stanje in drobljenje populacij rib	4
2.1.4 Prednostno razvrščanje pregrad za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov	5
2.2 ZAKONODAJNI OKVIR	6
2.2.1 Okvirna direktiva o vodah (OVD)	7
2.2.2 Zakon o vodah (ZV-1)	7
2.2.3 Zakon o sladkovodnem ribištvu (ZSRib)	8
2.2.4 Načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja 2015-2021 (NUV II)	9
2.3 UKREPI ZA IZBOLJŠANJE PREHODNOSTI PREGRAD IN VZDOLŽNE POVEZANOSTI VODOTOKOV	9
2.3.1 Odstranitev neprehodne pregrade	9
2.3.2 Transport rib preko splavnice za plovila	9
2.3.3 Fizično premeščanje rib	10
2.3.4 Izgradnja ribjega prehoda	10
2.4 IHTIOLOŠKI DEJAVNIKI NAČRTOVANJA RIBJIH PREHODOV	10
2.4.1 Ribji pasovi	11
2.4.2 Fizične karakteristike rib	12
2.4.2.1 Plavalna sposobnost in sposobnost preskakovanja ovir	12
2.4.2.2 Oblika in velikost rib	14
2.4.3 Zaznavnost toka, orientacija in vedenjski dejavniki pri migraciji	16
2.5 NAČRTOVANJE RIBJEGA PREHODA	17
2.5.1 Konstantnost delovanja ribjega prehoda	17
2.5.2 Zaznavnost ribjega prehoda	17
2.5.2.1 Optimalna lokacija ribjega prehoda	17
2.5.2.2 Vhod v ribji prehod in atrakcijski tok	20
2.5.3 Izhod iz ribjega prehoda	22

2.5.4	Hidrološka analiza in obratovalni pretok	23
2.5.5	Hidravlična analiza ribjega prehoda	23
2.5.5.1	Mejne in priporočljive vrednosti hidravličnih veličin	24
2.5.6	Dno ribjega prehoda	26
2.6	TIPI RIBJIH PREHODOV	27
2.6.1	Sonaravni tipi ribjih prehodov	28
2.6.1.1	Hrapava drča	28
2.6.1.2	Ribja drča	29
2.6.1.3	Obtočni kanal	30
2.6.2	Tehnični tipi ribjih prehodov	30
2.6.2.1	Bazenski tip	31
2.6.2.2	Bazenski tip z vertikalnimi režami	32
2.6.2.3	Prehod Denil	33
2.6.2.4	Prehod za jegulje	33
2.6.2.5	Ribja splavnica	34
2.6.2.6	Ribje dvigalo	34
2.6.3	Sonaravno-tehnični ribji prehod: Sonaravni bazenski tip ribjega prehoda	35
2.7	NAČRTOVANJE BAZENSKEGA TIPA Z VERTIKALNIMI REŽAMI	36
2.7.1	Osnovne značilnosti bazenskega tipa z vertikalnimi režami	36
2.7.2	Tlorisni potek	37
2.7.3	Dimenzije elementov ribjega prehoda	37
2.7.4	Hidravlični izračun	39
2.8	VZDRŽEVANJE RIBJEGA PREHODA	42
2.9	MONITORING DELOVANJA RIBJIH PREHODOV	42
2.10	ZAGOTAVLJANJE DOLVODNIH MIGRACIJ VODNIH ORGANIZMOV PREKO HIDROENERGETSKIH OBJEKTOV	43
2.10.1	Zaščita vtokov v turbine	44
2.10.1.1	Posebna zasnova turbin	44
2.10.1.2	Vedenjski ukrepi	44
2.10.1.3	Fizične ovire – rešetke	44
2.10.2	Poti za dolvodno migracijo	44
2.10.2.1	Dolvodna migracija preko ribjih prehodov za gorvodno migracijo	44
2.10.2.2	Dolvodna migracija preko prelivnih polj	45
2.10.2.3	Posebni objekti za dolvodno migracijo	45
3	IDEJNA ZASNOVA UREDITVE PREHODNOSTI NA SAVI BOHINJKI PRI JEZU HE SOTESKA	46
3.1	VPLIV IZBOLJŠANJA PREHODNOSTI NA JEZU HE SOTESKA NA VZDOLŽNO POVEZANOST ZGORNJE SAVE	46
3.2	PRIDOBITEV LOKACIJSKIH INFORMACIJ	47
3.2.1	Hidrološke značilnosti porečja Save Bohinjke	48
3.2.1.1	Pretočni režim	48
3.2.2	Jez HE Soteska	49
3.2.2.1	Fiksni del jezu	51
3.2.2.2	Vrečasti jez - fleksibilni del	52

3.2.2.3	Talni izpust	53
3.2.2.4	Dovodni kanal za turbine HE	53
3.2.2.5	Iztok iz turbin HE	54
3.2.2.6	Obstoječe stanje jezu in okolice	54
3.2.3	Vpliv delovanja derivacijskega tipa hidroelektrarne na okolje in opis ekološko sprejemljivega pretoka	55
3.2.4	Omejitve v prostoru	55
3.2.4.1	Progovni in varnostni železniški pas	56
3.2.4.2	Regionalna cesta Bled-Bohinj	56
3.3	IZBIRA UKREPA ZA IZBOLJŠANJE PREHODNOSTI NA ODSEKU JEZU HE SOTESKA	56
3.4	PRIDOBITEV PODATKOV O VODNIH ORGANIZMIH NA OBRAVNAVANEM OBMOČJU	57
3.4.1	Ureditev ribiškega upravljanja	57
3.4.2	Kakovost oziroma stanje voda	58
3.4.3	Ribje vrste.....	58
3.4.4	Ocena migracij.....	60
3.4.5	Podatki o drstiščih na širšem območju načrtovanja ribjega prehoda	61
3.4.6	Ocena prisotnosti ribjih vrst	62
3.4.6.1	Tujerodne vrste.....	63
3.4.6.2	Avtotone vrste.....	63
3.5	DOLOČITEV IHTIOLOŠKIH DEJAVNIKOV DIMENZIONIRANJA RIBJEGA PREHODA.....	63
3.5.1	Ribji pas	64
3.5.2	Merodajne velikosti organizmov	64
3.5.3	Plavalne sposobnosti.....	64
3.5.4	Obdobja drstitve	65
3.6	HIDROLOŠKA IN HIDRAVLICNA ANALIZA OBMOČJA.....	66
3.6.1	Krivulja trajanja pretokov in določitev pretoka za delovanje ribjega prehoda	66
3.6.2	Hidravlična analiza pretočnih razmer Save Bohinjke na območju jezu HE Soteska	68
3.6.3	Načrtovanje ureditve prehodnosti glavne struge	70
3.6.3.1	Ocena stroška investicije ureditve glavne struge	71
3.7	UMEŠČANJE RIBJEGA PREHODA V PROSTOR.....	72
3.7.1	Zaznavnost ribjega prehoda	73
3.8	NAČRTOVANJE RIBJEGA PREHODA.....	74
3.8.1	Robni pogoji pri izbiri tipa ribjega prehoda	74
3.8.1.1	Gladinska stanja	74
3.8.2	Izbira najprimernejšega tipa ribjega prehoda	76
3.8.3	Analiza variante A – bazenski tip z vertikalnimi režami.....	77
3.8.3.1	Hidravlični izračun pri najnižji gladini zgornje vode	77
3.8.3.2	Hidravlični izračun pri najvišji gladini zgornje vode	78
3.8.4	Analiza in idejna zasnova variante B – kombinacija bazenskega tipa z vertikalnimi režami in sonaravnega bazenskega tipa.....	79
3.8.4.1	Spodnji del – bazenski tip z vertikalnimi režami	80
3.8.4.2	Srednji del – bazenski tip z vertikalnimi režami s spodnjim izhodom.....	82
3.8.4.3	Zgornji del – sonaravni bazenski tip z zgornjim izhodom.....	83

3.9	MONITORING DELOVANJA RIBJEGA PREHODA.....	86
3.10	VZDRŽEVANJE RIBJEGA PREHODA.....	87
3.11	IZRABA DODATNEGA ATRAKCIJSKEGA TOKA ZA DELOVANJE MALE HIDROELEKTRARNE	87
3.11.1	Zasnova objektov in delovanja mHE	88
3.11.1.1	Dovodni kanal s fino rešetko.....	89
3.11.1.2	Strojnica	89
3.11.1.3	Iztočna cev z rešetko na iztoku.....	90
3.11.2	Izračun nazivne moči mHE	91
3.11.3	Ekonomska analiza zasnove mHE	91
3.11.3.1	Aproksimativni predračun investicijskih stroškov.....	91
3.11.3.2	Ocena letne proizvodnje in dobička.....	91
3.12	DOLDOVNE MIGRACIJE NA ODSEKU	92
3.13	ANALIZA INVESTICIJSKIH STROŠKOV CELOVITE UREDITVE PREHODNOSTI NA ODSEKU JEZU HE SOTESKA	93
4	ZAKLJUČEK.....	94
5	VIRI	96
PRILOGE		101

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Skakalne in plavalne sposobnosti nekaterih ribjih vrst (Kolman, 2014)	14
Preglednica 2: Merodajne velikosti nekaterih večjih ribjih vrst, ki naseljujejo povodje Donave in jih je potrebno upoštevati pri dimenzioniranju velikosti elementov ribjega prehoda (Schmutz in Mielach, 2013, povzeto po DWA, 2010).....	15
Preglednica 3: Najmanjše pozitivne zaznavne hitrosti glede na nekatere ribje vrste in njihovo starost (Schmutz in Mielach, 2013, povzeto po različnih avtorjih).....	16
Preglednica 4: Priporočene maksimalne hitrosti vodnega toka v ribjem prehodu [m/s], glede na celotno višinsko razliko, tip ribjega prehoda in ribjega pasu (DWA, 2014)	24
Preglednica 5: Maksimalne vrednosti disipacije energije v ribjem prehodu, po DWA (2014)	25
Preglednica 6: Maksimalne vrednosti disipacije energije v ribjem prehodu, po BMLFUW (2014), podane za najmlajše ribje vrste in njihove mladice v ribjem pasu.....	26
Preglednica 7: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: hrapava drča (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013)	29
Preglednica 8: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: ribja drča (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013)	30
Preglednica 9: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: obtočni kanal (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013)	30
Preglednica 10: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: bazenski tip (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013)	32
Preglednica 11: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: bazenski tip z vertikalnimi režami (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013).....	32
Preglednica 12: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: prehod Denil (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013)	33
Preglednica 13: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: ribja splavnica (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013)	34
Preglednica 14: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: ribje dvigalo (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013)	35
Preglednica 15: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: bazenski tip z vertikalnimi režami (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013).....	36
Preglednica 16: Enačbe za izračun dimenzij elementov bazenskega tipa ribjega prehoda z vertikalnimi režami (elementi na sliki 23).....	38
Preglednica 17: Minimalne dimenzije elementov ribjega prehoda z eno vertikalno režo (dimenzije so podane v metrih) (DWVK, 2002)	39
Preglednica 18: Seznam vodomernih postaj na Savi Bohinjki; aktivnost 1 - delujoče, 0 – ukinjene (ARSO, 2017).....	48
Preglednica 19: Tehnični podatki HE Soteska (http://www.gek.si/voda/200400091/Tehnicni_podatki , Pridobljeno 20. 4. 2017.)	51
Preglednica 20: Tehnične karakteristike jezu (Blažeka, 1994).....	51
Preglednica 21: Razdelitev ribiškega upravljanja na Savi Bohinjki (RibKat, Pridobljeno 18. 3. 2017.)	58
Preglednica 22: Naseljenost ribjih vrst v ribolovnih revirjih Save Bohinjke (ZZRS, 2016)	58
Preglednica 23: Ribje vrste, ki naseljujejo revirja Sava Bohinjka 3 in 4 (RibKat, Pridobljeno 19. 03. 2017.)	59
Preglednica 24: Razvrstitev ribjih vrst obravnavanega območja po razredih selitvenih tipov in selitvenih razdalj (razen za jezersko zlatovčico) (Dussling, in sod., 2004)	61
Preglednica 25: Ocena prisotnosti ribjih vrst na podlagi vzorčenja in izvor posamezne vrste	62
Preglednica 26: Merodajne velikosti ribjih vrst, ki naseljujejo revirja Sava Bohinjka 3 in 4 (Schmutz in Mielach, 2013; BIOS)	64
Preglednica 27: Srednji letni pretok na jezu HE Soteska	66

Preglednica 28: Štiri leta z najnižjimi letnimi povprečji za določitev krivulje trajanja pretokov za realno sušno leto.	68
Preglednica 29: Globina vode v strugi pri najmanjšem pretoku Save Bohinjke (glavna struga $Q_{es}=1,1 \text{ m}^3/\text{s}$, na iztoku iz HE $Q=3,6 \text{ m}^3/\text{s}$).....	70
Preglednica 30: Vzorec reprezentativnih pretokov v okviru katerih mora delovati ribji prehod in pri katerih so bila analizirana gladinska stanja zgornje in spodnje vode ob jezu HE Soteska	75
Preglednica 31: Rezultati analize gladinskega stanja.....	75
Preglednica 32: Rezultati hidravličnega izračuna spodnjega dela ribjega prehoda – bazenskega tipa z vertikalnimi režami	82
Preglednica 33: Rezultati hidravličnega izračuna srednjega dela ribjega prehoda – bazenskega tipa z vertikalnimi režami	83
Preglednica 34: Rezultati hidravličnega izračuna zgornjega dela ribjega prehoda – sonaravnega bazenskega tipa	85
Preglednica 35: Osnovni podatki za delovanje mHE ob normalnih razmerah (normalno obratovanje HE Soteska, pretoki Save Bohinjke niso visoki).....	88
Preglednica 36: Gladinsko stanje ob pretoku Save Bohinjke Q_{100} na jezu	88
Preglednica 37: Investicijski stroški posameznih delov ureditve prehodnosti za vodne organizme na odseku jezu HE Soteska.....	93

KAZALO SLIK

Slika 1: Najznačilnejše ribje vrste glede na vzdolžni odsek reke (prirejeno po FAO/DVWK, 2002)	12
Slika 2: Prilagoditev oblike ribjega trupa glede na različne pretočne režime (Technical Supplement 14N, 2007)	15
Slika 3: Prikaz poteka glavnega toka in ribje migracije v reki z rahlimi zavoji (prirejeno po DVWK, 2002)	18
Slika 4: Lokacija ribjega prehoda pri diagonalnih vodnih objektih (prirejeno po Larinier, 1992)	18
Slika 5: Prikaz pravih in nepravilnih lokacij ribjega prehoda in njenega vhoda v primeru diagonalnega neprehodnega objekta (Larinier, 2002)	19
Slika 6: Lokacija ribjega prehoda v primeru hidroenergetske pregrade (prirejeno po Seifert, 2012)	19
Slika 7: Ureditev ribjega prehoda v primeru hidroenergetske pregrade z derivacijskim kanalom (prirejeno po Seifert, 2012)	20
Slika 8: Povečanje atrakcijskega toka s črpalko ali obtočnim kanalom (Schmutz in Mielach, 2013)	21
Slika 9: Shematski prikaz ribjega vhoda z galerijo (Prirejeno po Larinier, 2002)	22
Slika 10: Neustrezna (levo) in izboljšana (desno) zaščita iztoka na ribjem prehodu ob Plečnikovi zapornici na Ambroževem trgu v Ljubljani (Brilly in sod., 2015)	23
Slika 11: Razporeditev hitrosti toka v ribjem prehodu, primerjava med gladkim in grobim dnom (FAO/DWVK, 2002)	27
Slika 12: Grobo zrnati kamni različnih velikosti, ki sestavljajo dno ribjega prehoda (Seifert, 2012)	27
Slika 13: Sonaravni tipi ribjih prehodov (FAO/DWVK, 2002)	28
Slika 14: Ribja drča na reki Sieg v Nemčiji (FAO/DWVK, 2002)	29
Slika 15: Vzdolžni prerez bazenskega tipa, z detajlnim prikazom možnih oblik prečnih sten. Možna je tudi izvedba s polno prečno steno, kjer se voda preliva samo čez steno (FAO/DWVK, 2002)	31
Slika 16: Različne oblike bazenskih tipov ribjih prehodov, glede na njihov tlorsni potek (Larinier, 1992)	31
Slika 17: Bazenski tip z vertikalnimi režami, ki predstavlja zgornji tehnični del največje ribje steze v Sloveniji pri HE Blanca (Vir: Avtor)	32
Slika 18: Levo – shematski prikaz vzdolžnega prereza prehoda Denil, desno – Prehod Denil z vmesnimi počivališči na reki Strom v Nemčiji (FAO/DWVK, 2002)	33
Slika 19: Delovanje ribje splavnice (FAO/DWVK, 2002)	34
Slika 20: Princip delovanja ribjega dvigala (Larinier, 1992)	35
Slika 21: Skica sonaravnega bazenskega tipa (Seifert, 2012)	36
Slika 22: Prikaz poteka glavnega toka (levo) in razporeditve hitrosti v bazenih (desno) bazenskega tipa ribjega prehoda z vertikalnimi režami (BMLFUW, 2012)	37
Slika 23: Shematski prikaz elementov ribjega prehoda z vertikalnimi režami (prirejeno po Seifert, 2012)	38
Slika 24: Shematski vzdolžni prerez bazenskega tipa z vertikalnimi režami	40
Slika 25: Detajlni vzdolžni prerez bazenskega tipa z vertikalnimi režami	40
Slika 26: Maksimalne hitrosti toka v ribjem prehodu se pojavijo pri toku vode skozi vertikalne reže (Seifert, 2012)	40
Slika 27: Krivulja za določitev pretočnega koeficienta μ_r (DVWK, 2002)	41
Slika 28: Neprehodni prečni objekti na odseku zgornje Save, številka 11 predstavlja jez HE Soteska in številka 6 Cajhnov jez (Blatnik in sod., 2015)	46
Slika 29: Lokacija HE Soteska na karti Slovenije	47
Slika 30: Sava Bohinjka s prispevnim območjem in označenimi vodomernimi postajami (Prirejeno po Atlas okolja, Pridobljeno 11. 3. 2017.)	47
Slika 31: Situacija HE Soteska – tlors	50
Slika 32: Prečni prerez zaježitvene zgradbe (levo obstoječi kaštni jez, desno dograjen vrečasti jez) (Blažeka, 1994)	52
Slika 33: Popolnoma dvignjen vrečasti jez pri normalnem obratovanju (Avtor: terenski ogled, 26.3.2017)	52
Slika 34: Lokacija talnega izpusta in vtoka v dovodni kanal za turbine (Avtor: terenski ogled, 26.3.2017)	53
Slika 35: Grobe rešetke na vtoku v dovodni kanal HE (Avtor: terenski ogled, 26.3.2017)	54

Slika 36: Poškodbe na jezu, terenski ogled 10.3.2015 (Blatnik in sod., 2015)	54
Slika 37: Sanirane poškodbe na jezu (Avtor, terenski ogled, 26.3.2017)	54
Slika 38: Poškodovana leva dolvodna brežina (Sodnik, 2010)	55
Slika 39: Sanirane poškodbe leve brežine (Sodnik, 2010)	55
Slika 40: Nekatere omejitve pri umeščanju ribjega prehoda v prostor: progovni pas in varovalni pas državne ceste	56
Slika 41: HE Soteska predstavlja mejo med revirjema Sava Bohinjka 3 (ZZRS) in Sava Bohinjka 4 (Ribiška družina Bled)	59
Slika 42: Lokacija drstišč potočne postrvi, lipana in sulca, tik dolvodno od iztoka iz turbin HE Soteska (X=428195, Y=130527) (ZZRS, 2016)	62
Slika 43: Obdobja ribjih selitev zaradi reprodukcije	65
Slika 44: Hidravlični model odseka v programu HEC-RAS	69
Slika 45: Vgraditev leseno-kamnite jezbe in dodatna stabilizacija z vertikalnimi piloti (Zorič in Horvat, 2012) .	71
Slika 46: Z večjimi kamni in lomljencem polnjena leseno-kamnita jezbe (Zakotnik, 2014)	71
Slika 47: Omejitve pri umeščanju ribjega prehoda v prostor: progovni pas, varovalni pas državne ceste, območje odlaganja plavin, objekti HE Soteska	72
Slika 48: Skici lokacijske umestitve dveh variant (rdeče- varianta A, črna – varianta B)	76
Slika 49: Tloris zasnove ribjega prehoda variante B	80
Slika 50: Dimenzije elementov spodnjega dela ribjega prehoda – bazenskega tipa z vertikalnimi režami	81
Slika 51: Primer izvedbe sonaravnega bazenskega tipa (Seifert, 2012)	84
Slika 52: Strojnica mHE Vrhovo s cevno turbino in generatorjem (http://nep.vitra.si/ukrep.php?fid=1648&id=150)	89
Slika 53: Fine rešetke pred vtokom v turbine HE Soteska	92

1 UVOD

Grajeni neprehodni prečni vodnogospodarski objekti vplivajo na ribje populacije in druge vodne organizme ter so eden izmed glavnih razlogov za razdrobljenost rečnih ekosistemov in slabo vzdolžno povezanost vodotokov. Selitve rib so usmerjena gibanja med drsnimi in prehranjevalnimi habitatmi ter so posledica zunanjih in notranjih dejavnikov. Selitev vodnih organizmov preko objektov je lahko omejena ali popolnoma preprečena. Ribe so odličen pokazatelj stanja vodnega okolja, ker se selijo so rezultat longitudinalnega in ne le točkovnega stanja vodnega okolja.

Eden izmed najučinkovitejših ukrepov za zagotavljanje prehodnosti preko vodnogospodarskih objektov je izgradnja ustreznega ribjega prehoda. To je objekt, ki v ustrezni zasnovi in z učinkovitim delovanjem omogoča gorvodno ali dolvodno migracijo vseh vodnih organizmov. Terminološko gledano je pojem prehod za ribe zelo ozko omejen zgolj na prehodnost rib, dejansko pa, če želimo doseči funkcionalnost ribjih prehodov, moramo zagotoviti tudi ustrezne pogoje. To pa pomeni omogočiti migracijo vseh populacij, ki sodijo v prehraben krog posameznih ribjih vrst, za katere želimo zagotoviti prehodnost. Zato bi bilo mogoče ustrezneje, da bi terminološko namesto ribjega prehoda uporabljali pojem prehod za vodne organizme. »Ribji prehod«, »ribja steza« in »ribja lestev« so izrazi, katerih pomen je enak in so se skozi preteklost uveljavili kot izrazi za poimenovanje objekta, ki zagotavlja prehodnost, ne zgolj ribam, temveč tudi vsem vodnim organizmom. Zaradi tega bomo v magistrskem delu za poimenovanje takšnega objekta uporabljali enotni termin »ribji prehod«.

V Sloveniji mora v skladu z obstoječo zakonodajo investitor gradnje in drugih posegov na območju ribiškega okoliša zaradi prehajanja rib čez grajene objekte v vodah zagotoviti ustrezen prehod za ribe (19. člen, ZSRib). Če se osredotočimo samo na hidroenergetske objekte je v Sloveniji zgrajenih 25 velikih hidroenergetskih pregrad (Kryžanowski, 2017) in okoli 425 malih hidroelektrarn (v nadaljevanju mHE) (Kolman is sod., 2010). Na večini jezovnih zgradb (zlasti na mHE) pa ni zagotovljene prehodnosti za vodne organizme. Tudi na obstoječih objektih bo s časom potrebno izvesti ukrepe za izboljšanje prehodnosti za vodne organizme. Še posebej na prednostnih objektih, pri katerih bi imelo izboljšanje stanja prehodnosti največji vpliv na izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotoka. Problematiko prekinjenih selitvenih poti za ribe na vodotokih, obremenjenih z neprehodnimi obstoječimi prečnimi objekti, je potrebno reševati celovito na ravni celotnega porečja.

Da v preteklosti načrtovanju ukrepov za zagotavljanje prehodnosti preko prečnih vodnogospodarskih objektov ni bilo posvečeno veliko pozornosti kažejo tudi spoznanja, da veliko zgrajenih ribjih prehodov ne opravlja svoje funkcije, oziroma je mogoče celo reči, da so bili ti zgrajeni zgolj zaradi izpolnjevanja določenih zahtev pred gradnjo, ne pa zaradi resničnega namena zagotavljanja prehodnosti za vodne organizme. Načrtovanje ukrepov za izboljšanje prehodnosti, med katerimi so najučinkovitejši različni tipi ribjih prehodov, je interdisciplinaren proces, pri katerem je potrebno sodelovanje strokovnjakov iz različnih strok. Pri načrtovanju je potrebno najprej upoštevati ihtiološke dejavnike, ki jih pogojujejo ribje vrste, ki naseljujejo območje obravnave, nato pa tudi priporočila iz sodobnih smernic načrtovanja ribjih prehodov.

V magistrskem delu obravnavamo načrtovanje ukrepov za izboljšanje prehodnosti prečnih vodnogospodarskih objektov, s katerimi lahko vplivamo na izboljšanje vzdolžne povezanosti

vodotokov za vodne organizme. Podrobneje obravnavamo problematiko neprehodnosti odseka Save Bohinjke pri jezu HE Soteska.

1.1 NAMEN IN STRUKTURA MAGISTRSKEGA DELA

Osnovni cilj magistrskega dela je izdelati načrt ukrepov, s katerimi bo doseženo izboljšanje prehodnosti za vodne organizme na Savi Bohinjki pri jezu HE Soteska in s tem vplivati na izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotoka Sava Bohinjka na celotnem toku od iztoka iz Bohinjskega jezera do sotočja s Savo Dolinko pri Radovljici. Rezultati študije, v okviru katere je bila izdelana ocena stanja prehodnosti vodnih organizmov na zgornji Savi (Blatnik in sod., 2015), so pokazali, da bi ustrezen ukrep za izboljšanje prehodnosti (na primer izgradnja ribjega prehoda) na jezu HE Soteska bistveno izboljšal vzdolžno povezanost zgornje Save.

V prvem delu najprej obravnavamo teoretična izhodišča načrtovanja ukrepov za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov. Namen tega dela je opisati vse robne pogoje, ki jih je potrebno upoštevati pri načrtovanju ukrepov, predvsem pri načrtovanju ribjih prehodov. Obravnavani so ihtiološki dejavniki, pri katerih smo se osredotočili na ribje vrste, ki naseljujejo povodje Donave. Pri obravnavi različnih tipov ribjih prehodov smo izpostavili pozitivne in negativne lastnosti posameznega tipa, kar naj bi inženirju omogočilo hitro presojo primernosti ribjega prehoda pri specifičnem reševanju problematike prehodnosti na določenem odseku. Podrobneje je obravnavano načrtovanje bazenskega tipa z vertikalnimi režami in sonaravno-tehničnega bazenskega tipa, ki skupaj sestavljata načrtovano zasnovo ribjega prehoda ob jezu HE Soteska, opisano v drugem delu magistrskega dela.

V drugem delu smo na podlagi podanih teoretičnih izhodišč izdelali idejno zasnovo ureditve prehodnosti za vodne organizme na odseku Save Bohinjke pri jezu HE Soteska.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

2.1 VPLIV PREČNIH VODNIH OBJEKTOV NA VODNE ORGANIZME IN VZDOLŽNO POVEZANOST VODOTOKA

Migracija rib in drugih vodnih organizmov vzdolž vodotoka je lahko ovirana na več različnih načinov. Ločimo dve osnovni skupini:

- fizične ovire – prečni objekti;
- vedenjske ovire.

Vedenjske ovire so posledica sprememb habitata s spremembo tekoče reke v mirno vodo v akumulacijo za pregrado, naravnih ovir, izravnave vodotoka, uničenja obrežne vegetacije, izpustov hladne vode iz akumulacij, izpustov tople vode iz nuklearne, spremembe kemijske lastnosti vode itd. (Lariner, 2000).

Fizične ovire oziroma prečni vodni objekti vplivajo na vodotok s tem, da spreminjajo hidrološke in hidravlične lastnosti vodotoka. Selitev vodnih organizmov preko objektov je lahko omejena ali popolnoma preprečena. Pri prelivanju vode čez prečne vodne zgradbe prihaja do povečanja hitrosti vodnega toka in močne turbulence. Še večji vpliv na prehodnost objekta za vodne organizme ima višina objekta in razlika med zgornjo in spodnjo gladino vode, ki jo pri tem ustvari.

Prečni vodni objekti (pregrade ali jezovi) na vodotokih se običajno gradijo iz dveh razlogov:

- stabilizacija dna in brežin struge vodotoka pri večjih vzdolžnih padcih vodotokov (npr. hudournikov);
- zaježitev vode za potrebe različne rabe voda (poplavna varnost, hidroenergetska izraba vode, kmetijstvo, industrija, bogatenje nizkih voda, ribištvo, rekreacija in turizem)

S terminom velika pregrada označujemo prečne objekte, ki so višji od 15 m, s terminom jez (tudi mala pregrada) pa prečne objekte, ki so nižji od 15m. V nadaljevanju bomo pri opisu prečnih vodnih objektov uporabljali enotni termin pregrada. Najpogostejšo zaježitev za potrebe rabe vode, predstavljajo hidroenergetske pregrade. Pregrada je neprehodna ovira, ki lahko popolnoma spremeni naravni rečni režim in preprečuje tako stalnim ribjim vrstam kot selivkam prehajanje med različnimi gor- in dolvodnimi habitatami (Kolman in sod., 2010). Prečni objekti tako negativno vplivajo na vzdolžno povezanost vodotoka za vodne organizme.

2.1.1 Vpliv pregrad na vodni ekosistem in organizme

Zaježitve in odvzemi vode iz vodotokov vplivajo na vodni in obvodni ekosistem. Nad in pod pregrado prihaja do hidroloških, bioloških in fizikalno-kemijskih sprememb. Zaradi bistveno spremenjenega hidrološkega režima prihaja do zmanjšane pretoka vode ter sprememb hitrosti vodnega toka in globine vode, prav tako pride do sprememb v trajanju pretokov vode.

Na vodni in obvodni ekosistem pod pregrado odvzem vode iz vodotokov vpliva v treh zaporednih fazah: najprej pride do spremenjenega režima pretoka vode in premeščanja plavin, kvalitete vode in fizikalno-kemijskih parametrov; sledi sprememba v strukturi plavin, obliki struge ter v združbi perifitonskih alg in makrofitov; vse to se nato odraža na vodnih nevretenčarjih in ribah. Kompleksnost vplivov med vsemi temi dejavniki omogoča, da je

ekosistem sposoben prenesti večino počasnih in relativno majhnih naravnih sprememb. Antropogeni posegi v okolje kot je zaježitev in odvzem vode povzroča velike (in hitre) spremembe, ki podrejo ravnotežje v ekosistemu in zato le ta postane nestabilen in se nepovratno spremeni (Smolar-Žvanut, 2005).

2.1.2 Ribe kot bioindikatorji kvalitete vodnega okolja

Ribe so odličen pokazatelj stanja vodnega okolja. So končni člen v prehranjevalni verigi v vodnih ekosistemih in so ena najvišje razvitih vodnih živali. Velik vpliv na njihovo naseljenost, raznolikost in kondicijsko stanje v vodnem okolju ima človek. Ribe se uporabljajo kot indikator degradacije okolja, saj živijo dolgo in se v njih kopičijo (akumulirajo) snovi, prav tako pa v njih poteka tudi proces biomagnifikacije skozi prehransko verigo, kjer organizmi višjih trofičnih nivojev (ribe) kopičijo višje koncentracije npr. toksičnih organskih snovi, kot organizmi, s katerimi se prehranjujejo. Ker se ribe tudi selijo (migrirajo) so rezultat longitudinalnega in ne le točkovnega stanja vodnega okolja (Povž in Kryžanowski, 2005).

2.1.3 Vpliv pregrad na migracije, stanje in drobljenje populacij rib

Migracije rib so usmerjena gibanja med drstnimi in prehranjevalnimi habitatami ter so posledica zunanjih in notranjih dejavnikov. Pomembni notranji dejavniki biotskega izvora so hormonska pripravljenost za reprodukcijo, prehranske zahteve, stres in vračanje na mesto izlega. Zunanji dejavniki abiotskega izvora, ki vplivajo na migracijo rib, so temperatura vode, hipno nihanje gladine vode, hrup v vodi, turbulenca in stopnja kisika v vodi. Odvisno od ribje vrste in prej omenjenih dejavnikov, ribe migrirajo v sezonskih, mesečnih ali dnevniških intervalih (Schmutz in Mielach, 2013).

Migracije zaradi drsti večinoma potekajo gorvodno. Nekatere vrste migrirajo pri večjih, druge pri manjših pretokih. Dolvodne migracije potekajo predvsem z namenom razširjanja vrste in genetskega zdrsa ter ob vračanju iz drstišč po reprodukciji (Schmutz in Mielach, 2013). Dolvodno tako prehajajo diadromne vrste oz. mladice anadromnih vrst in odrasli osebk potamodromnih vrst rib (Kolman in sod., 2010). Migratorne ribje vrste potrebujejo različna okolja za svoje delovanje. Migracije rib celinskih voda delimo glede na migracijske razdalje na potamodromne in diadromne migracije. Potamodromne ribe migrirajo samo znotraj celinskih voda z razdaljami od nekaj metrov do 100 km. Diadromne ribe so tiste, ki migrirajo zato, da dosežejo primerna območja za drstenje in/ali prehranjevanje ter migrirajo med celinskimi vodami ter morjem z razdaljami nekaj 1000 km. Diadromne migracije razdelimo na anadromne, katadromne in amphidromne migracije. Anadromne ribe večino svojega življenja preživijo v morju in migrirajo v celinske vode na drstenje (npr. losos). Katadromne ribe večino svojega življenja preživijo v celinskih vodah in na drstenje migrirajo v morje (npr. jegulja). Amphidromne ribje vrste pa med morjem in celinskimi vodami migrirajo zaradi potreb po iskanju hrane in zavetišč in ne drstenja (Larinier, 2000; Thorncraft in Harris, 2000).

Kot smo zapisali že v poglavju 2.1.1 so migracijske ovire lahko tako fizična kot tudi vedenjska prepreka. Pregrade vplivajo na preživetje in obnavljanje ribjih populacij. Neprehodna ovira lahko popolnoma spremeni naravni rečni režim in s tem preprečuje stalnim in migratornim ribjim vrstam prehajanje med različnimi prej vzpostavljenimi gorvodnimi in dolvodnimi habitatami. Predvsem za ribe, ki migrirajo na velike razdalje, neprehodne ovire lahko pomenijo lokalno izumrtje gorvodno od teh ovir, kar se lahko izraža tudi v zmanjšanju velikosti populacij dolvodno

od ovir. Spremembe strukture habitata po izgradnji neprehodne pregrade vplivajo tudi na vedenje in fiziologijo rib. Za pregrado se sicer ustvari nova vodna prostornina, ki ima praviloma večjo vodno površino, vendar manj ribjih habitatov. Le ti se običajno ohranijo le v zamuljenih plitvinah v sami zaježitvi ali v izlivnih delih pritokov. Pod pregrado je pogosto opažena sprememba starostne strukture in zmanjšana gostota ribje populacije. Zaradi pogostega nihanja vodne gladine pod pregrado pride do zmanjšanja števila ali celo izginotja drstišč, pasišč in plitvejših predelov z mirno, toplejšo vodo, kjer se zadržujejo predvsem zarod in mladice (Kolman in sod., 2010; Smolar-Žvanut, 2005).

Pregrade, poleg preprečevanja migracij rib do drstišč, razdrobijo populacije rib na manjše dele. Problem majhnih populacij v biologiji, ki se pojavlja tudi kot posledica fragmentacije habitatov, dobro razlaga »Alleejev učinek«. Slednji opisuje pozitivno korelacijo med obstankom vrste in gostoto njene populacije. Če je na nekem območju število osebkov premajhno, lahko njihovo število še bistveno upade zaradi različnih mehanizmov. V primeru ribjih populacij so pomembni predvsem t. i. razmnoževalni, preživitveni in genetski mehanizmi. Pri razmnoževanju osebki težje najdejo ustreznega partnerja (starostna in spolna nesorazmerja). Za ribe, ki živijo v jatah, se ob manjšem številu zmanjša njihova učinkovitost obrambnega vedenja pred plenilci. Tudi na splošno se ob zmanjšanem številu plena pritisk plenilcev na posamezne osebe poveča. Zelo pomemben je genetski mehanizem, kjer v primeru parjenja v sorodstvu prihaja do genetskega drifta in s tem izgube genetske diverzitete. Slednja je ključna za obstanek vrste, saj se v primeru sprememb v okolju izrazijo različni geni, ki omogočajo preživetje. Poleg tega prihaja do različnih kombinacij naštetih mehanizmov. Različni naključni dogodki, ki normalno ne bi močno vplivali na obstoj vrste (npr. suše, poplave, lokalna onesnaženja) pa imajo lahko v majhnih populacijah bistven vpliv (Tome, 2006).

2.1.4 Prednostno razvrščanje pregrad za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov

Neprehodne pregrade so ovire v vodotoku, ki negativno vplivajo na migracije rib in stanje ribjih populacij. So eden izmed razlogov za razdrobljenost rečnih ekosistemov in slabo vzdolžno povezanost vodotoka. Problematiko prekinjenih selitvenih poti za ribe na vodotokih, obremenjenih z neprehodnimi, obstoječimi pregradami, je potrebno reševati celovito, na ravni porečja. V ta namen so bile razvite metode za prednostno razvrščanje pregrad za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov. Metode nam omogočajo določitev, katere pregrade na vodotoku imajo največji vpliv na selitve rib. S tem določimo prioritete objekte, na katerih bomo z izboljšanjem posamezne prehodnosti, kar se da najboljše vplivali na izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotoka. Obravnava teh metod je zlasti pomembna pri načrtovanju izboljšave stanja na vodotoku, ki je zelo obremenjen s pregradami. Tako lahko racionalno in učinkovito izboljšamo ekološko stanje vodotoka že samo z vzpostavitev prehodnosti za ribe na ključnih pregradah.

Ena izmed učinkovitih metod za prednostno razvrščanje pregrad za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov in s katero vrednotimo vzdolžno povezanost vodotokov za ribe je bila razvita v Kanadi (Cote in sod., 2009). Uporabnost kanadske metode je odvisna od razpoložljivih podatkov, znanja in predhodnih izkušenj ter od subjektivne presoje eksperta o primernosti izbrane metode. Na podlagi metode izračunamo indeks vzdolžne povezanosti vodotokov (v nadaljevanju indeks DCI). Indeks DCI temelji na predpostavki, da se ribe prosto gibljejo med dvema naključnima točkama v rečnem omrežju. Indeks DCI lahko izračunamo za potamodromne (indeks DCI_p) in diadromne ribje vrste (indeks DCI_d). Z indeksom DCI ocenimo

kumulativne vplive pregrad na ribe ter določimo prednostne naloge za obnovo vodotokov (Kolman, 2014).

Indeks DCI_p je merodajen za potamodromne vrste, to so ribe, ki migrirajo znotraj celinskih voda v razdaljah od nekaj metrov do 100 km. V primeru, ko obravnavamo vodotok, kjer ni prisotnih diadromnih ribjih vrst, pri izračunu upoštevamo samo indeks DCI_p . Interval vrednosti indeksa DCI_p je od 0 do 100. Vrednost indeksa $DCI_p = 100$ pomeni, da je rečno omrežje brez prečnih ovir ali pa so vse pregrade 100 % prehodne za ribe. Velja zakonitost, da večje kot je število neprehodnih pregrad za ribe v rečnem sistemu, manjša je vrednost indeksa DCI_p za potamodromne ribje vrste (Kolman, 2014).

Indeks DCI_p izračunamo po enačbi (Cote in sod., 2009):

$$DCI_p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \frac{l_i}{L} \frac{l_j}{L} \times 100 \quad (1)$$

- c_{ij} - prehodnost pregrad za ribe med rečnima odsekoma i in j
- l_i - dolžina rečnega odseka i (m)
- l_j - dolžina rečnega odseka j (m)
- L - skupna dolžina rečnega omrežja (m)
- i - rečni odsek i
- j - rečni odsek j
- n - število rečnih odsekov, ki je enako številu pregrad plus ena

2.2 ZAKONODAJNI OKVIR

Če najprej pogledamo širše, je zagotavljanje selitve vodnih organizmov na svetovni ravni utemeljeno z Bonnsko konvencijo o varstvu selitvenih vrst prostoživečih živali iz leta 1979. Bernska konvencija o varstvu prosto živečega evropskega rastlinstva in živalstva ter njunih naravnih življenjskih prostorov iz leta 1979 ureja to področje na evropski ravni. Podpisnica obeh konvencij je z letom 1998 tudi država Slovenija. Podrobno je to področje na evropski ravni zastopano z Direktivo o habitatih (The Council Directive 92/43/EEC on the Conservation of Natural Habitats and of Wild Fauna and Flora - "The Habitat Directive") in Okvirno direktivo o vodah (Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES, z dne 23. oktobra 2000, o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike). Slovenija je vsebino konvencij in direktiv prenesla v lastne pravne akte (Zabirc in sod., 2014).

Pri pregledu zakonodaje smo se osredotočili na vsebine, ki obravnavajo področje zagotavljanja vzdolžne in prečne povezanosti vodotokov ter področje gradnje objektov kot je ribji prehod.

V Sloveniji te vsebine obravnavajo naslednji zakoni in ostali pravni akti:

- Zakon o vodah;
- Zakon o sladkovodnem ribištvu;
- Načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja 2015-2021 (NUV II);
- Zakon o varstvu okolja in Pravilnik o določitvi odsekov površinskih voda, pomembnih za življenje sladkovodnih vrst rib.

2.2.1 Okvirna direktiva o vodah (OVD)

Okvirno direktivo o vodah (Water framework directive – WFD (Direktiva 2000/60/ES)) je leta 2000 sprejel Evropski parlament in Svet. Temeljna vsebina direktive podaja izhodišča za upravljanje voda s tem, da se prepreči in zmanjša onesnaževanja, vzpodbudi trajnostna raba vode, zagotovi varstvo vodnega okolja, izboljša stanja vodnih ekosistemov in ublažijo vplivi poplav ter suš. OVD med drugim ureja okoljske standarde za kakovost ribolovnih vod, hkrati pa izpostavlja ohranjanje in vzpostavljanje prehodnosti vodotokov za vodne organizme (Špacapan, 2014).

Direktiva je zakonodajni akt o določenem cilju, ki ga morajo doseči države EU, toda vsaka država sama sprejme svoje predpise o tem, kako bo ta cilj dosegla.

2.2.2 Zakon o vodah (ZV-1)

Zakon o vodah (ZV-1) je usklajen z evropsko Okvirno direktivo o vodah. V svoji vsebini obravnava problematiko upravljanja voda, hkrati pa določa pravni status vodnih zemljišč, vodne infrastrukture, določa naloge urejanja voda, način izvajanja ter ureja vodne pravice. S prenosom evropske zakonodaje v slovenski pravni red se je spremenila prostorska politika in politika upravljanja z vodami. Ustanovljen je bil Inštitut za vode in Sklad za vode. Slovenska zakonodaja je za teritorialno podlago in institucionalno organiziranost vzela dve vodni območji, ki sta del mednarodnih povodij: povodje Donave in povodje Jadranskega morja. Institucionalna organiziranost se nato dalje deli na državno in občinsko upravo, ki sta tudi osrednja akterja pri upravljanju z vodami in pri varstvu okolja.

Zakon obravnava upravljanje z morjem, celinskimi in podzemnimi vodami ter z vodnimi in priobalnimi zemljišči (1. člen, ZV-1). Upravljanje je v pristojnosti države, razen tistih nalog, za katere je pristojna lokalna skupnost (5. člen, ZV-1). Zakon med drugim podrobno ureja področje vodnih objektov in naprav. Vodna infrastruktura je opredeljena kot objekt ali naprava, ki je namenjena urejanju voda, zlasti visokovodni nasipi, jezovi, pragovi, zadrževalniki in zbiralniki, ter izvajanju monitoringa (44. člen, ZV-1). Gradnja vodne infrastrukture je v javnem interesu. Objekt po zaključenem posegu v prostor pridobi status vodne infrastrukture, ki jo izda ministrstvo in je v lasti države ali izvajalca javne službe. Za uporabo vodne infrastrukture je potrebno pridobiti soglasje ministrstva (48. člen, ZV-1).

Pri posegih v vodni in obvodni prostor je potrebno upoštevati tudi prostorske akte in zakon o gradnji objektov. V prostorskih aktih so prikazana varstvena in ogrožena območja, katera mora pripravljaivec prostorskih aktov pri izbiri možne rabe tal in posegih v prostor tudi upoštevati. Pripravljaivec določi posege v prostor, ki se nanašajo na graditev vodne infrastrukture in so predvideni v načrtih upravljanja voda (61. člen, ZV-1).

Če predviden poseg v prostor trajno ali začasno vpliva na vodni režim ali stanje voda, je potrebno pridobiti vodno soglasje. Pravna ali fizična oseba, ki namerava izvesti poseg, lahko od ministrstva zahteva informacije o predpisanih pogojih, ki jih mora poseg izpolnjevati (151. člen, ZV-1). Kadar se investitor odloči za gradnjo ali spremembo namembnosti, mora pridobiti gradbeno dovoljenje po predpisih, ki urejajo graditev objektov, pred začetkom izvajanja mora pridobiti projektne pogoje, ki jih mora nameravani poseg izpolnjevati, k projektnim rešitvam pa mora pridobiti vodno soglasje. Vložena vloga za določitev projektnih pogojev je pravna podlaga

za neposreden vpogled uradne osebe, ki vodi postopek, v informatizirane uradne evidence (151. člen, ZV-1).

71. člen Zakona o vodah uvaja pojem »ekološko sprejemljivi pretok« in določa, da mora biti pri posebni rabi površinskih voda, zaradi katere bi se lahko zmanjšal njen pretok ali znižala gladina ali poslabšalo stanje voda, v vseh letnih obdobjih zagotovljen ekološko sprejemljivi pretok ali gladina površinske vode. Ekološko sprejemljivi pretok je tista količina vode, ki ob dovoljeni rabi ne poslabšuje stanja vode oziroma ne preprečuje njenega izboljšanja ter ohranja zgradbo in delovanje vodnega in obvodnega ekosistema (71. člen, ZV-1). Na podlagi tretjega odstavka 71. člena ZV-1 je od leta 2009 v veljavi Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka. Tako se ekološko sprejemljivi pretok pri novih posegih v okolje določa na podlagi te uredbe. Izjemoma se lahko vrednosti ekološko sprejemljivega pretoka prenese tudi iz prej izdanih koncesijskih pogodb, aktov, gradbenega dovoljenja ali projektne dokumentacije (3. člen Uredbe o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka).

2.2.3 Zakon o sladkovodnem ribištvu (ZSRib)

Glavni pravni akt, ki se nanaša na sladkovodne ribe ter njihovo prehodnost preko vodnogospodarskih objektov, je zakon o sladkovodnem ribištvu (krajše ZSRib). Zakon, ki ureja sladkovodno ribištvo kot upravljanje ribolovnih virov v celinskih vodah (1. člen, ZSRib), je v veljavo stopil 28. 6. 2006. Cilji zakona so zlasti celostno načrtovanje in upravljanje z ribami na teritorialno zaokroženih območjih, omogočanje trajnostne rabe in etike ribolova, načrtovanje, pospeševanje in nadzor gojitve rib, varstvo ogroženih ribjih vrst ter varovanje in ohranjanje narave salmonidnih in ciprinidnih voda (5. člen, ZSRib). Vsebina je razdeljena na osemnajst poglavij in vsebuje sedeminsedemdeset členov. Za potrebe magistrskega dela je pomemben predvsem 19. člen, ki govori o gradnji in drugih posegih na območju ribiškega okoliša. Po zakonu tako velja, da mora biti vsak poseg v ribiški okoliš skrbno načrtovan in izveden na način, ki v največji meri ohranja stanje ribjih vrst. Gradnja objektov se izvaja na vodnih zemljiščih, ob predhodni pridobitvi soglasja zavoda ter po predpisih o graditvi objektov. V 19. členu v 3. točki je opredeljeno, da mora investitor zagotoviti ustrezen prehod za ribe čez grajene objekte, funkcionalnost prehoda pa mora zagotoviti lastnik oziroma najemnik objekta.

Zakon določa, da se dolgoročne usmeritve za upravljanje rib na državni ravni sprejme s programom za obdobje 12 let. Tako je trenutno v veljavi sprejet Program upravljanja rib v celinskih vodah RS za obdobje 2010-2021. Program med drugim vsebuje oceno stanja, cilje in usmeritve za varstvo in trajnostno rabo rib, naloge in ukrepe za doseganje ciljev upravljanja rib (10. člen, ZSRib).

Zavod za ribištvo Slovenije (ZZRS), čigar ustanoviteljica je država, je javni zavod, ki opravlja upravne, strokovne in razvojne naloge s področja ribištva (43. člen, ZSRib). Zavod nastopa kot oseba javnega prava s statusom javnega zavoda. Zavod skrbi za vodenje informacijskega sistema ribištva, za izvajanje monitoringa populacij rib, pripravlja strokovne podlage za določitev ribiških območij, okolišev in revirjev, izdaja soglasja in strokovna mnenja ter izvaja ribiško upravljanje v vodah posebnega pomena (45. člen, ZSRib).

Ribiška družina je društvo, ki ima sklenjeno koncesijsko pogodbo za izvajanje ribiškega upravljanja v ribiškem okolišu. V ribiški zvezi pa so združene vse ribiške družine (52. člen, ZSRib). Ribiške družine delujejo v javnem interesu (55. člen, ZSRib).

2.2.4 Načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja 2015-2021 (NUV II)

V času pisanja magistrskega dela NUV II sicer še ni uradno sprejet, na voljo je zgolj osnutek v katerem so možni še manjši popravki. Ne glede na to lahko predpostavimo, da se vsebina predlaganih temeljnih ukrepov ne bo spreminjala. Med temeljne ukrepe izboljšanja hidromorfološkega stanja površinskih voda, napisane v NUV II, spada tudi ukrep za zagotavljanje prehodnosti rib preko prečnih objektov. Med dopolnilne ukrepe spada izvedba ukrepov za vzpostavitev prehodnosti za vodne organizme. NUV II naj bi sicer nasledil obstoječi Načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja 2009-2025 (NUV I), ki je bil z uredbo sprejet leta 2011. Sprejetje načrtov upravljanja voda je ena izmed temeljnih zahtev Direktive o vodah (Direktiva 2000/60/ES).

2.3 UKREPI ZA IZBOLJŠANJE PREHODNOSTI PREGRAD IN VZDOLŽNE POVEZANOSTI VODOTOKOV

Med možne ukrepe za zagotavljanje prehodnosti pregrad ter s tem izboljšanje povezanosti vodotokov, spadajo:

- odstranitev neprehodne pregrade,
- transport rib preko splavnice,
- fizično premeščanje rib,
- izgradnja ribjega prehoda.

2.3.1 Odstranitev neprehodne pregrade

Preučitev možnosti odstranitve neprehodne pregrade pride v poštev pri objektih, ki ne izpolnjujejo več svoje funkcije. Tu gre zlasti za primere močno dotrajanih objektov. Po odstranitvi obstoječega objekta je potrebno območje sonaravno urediti. Pred popolno odstranitvijo objekta in vzpostavitvijo naravnega stanja pred izgradnjo je potrebno preučiti vplive odstranitve na morebitne obstoječe objekte na tem območju, tako iz stališča stabilnosti objektov kot tudi poplavne varnosti. Pri načrtovanju novega objekta na vodotoku in tudi pri odstranitvi objekta je potreben celostni pristop pri urejanju vodotoka in porečja.

2.3.2 Transport rib preko splavnice za plovila

Splavnico za plovila bi lahko uvrstili tudi med tipe ribjih prehodov, vendar jih zaradi njene prvotne funkcije (katera ni zagotavljanje prehodnosti za vodne organizme) in posebnosti delovanja, v tem magistrskem delu obravnavamo kot poseben možen ukrep zagotavljanja prehodnosti in izboljšanja vzdolžne povezanosti vodotoka.

Splavnica je objekt za dviganje in spuščanje plovil med odseki z različnimi nivoji vode na rečnih plovnih poteh in kanalih. Ker so taki objekti, zaradi lažjega manevriranja plovil, zgrajeni v območjih z mirno vodo, le ti zagotavljajo malo atrakcijskega toka, ki bi ribe privabil v območje splavnice. Atrakcijski tok bi bilo mogoče v določeni meri zagotoviti s prilagojenim delovanjem zapornic, vendar tu lahko kaj hitro posegamo v optimalno delovanje splavnice za zagotavljanje

prvotne funkcije dvigovanja in spuščanja plovil. Prav tako je težko zagotoviti, da bodo ribe v času zapiranja zapornic ostale v splavnici. Zaradi tega je prehajanje preko obstoječih splavnic za plovila bolj kot ne slučajen pojav (Marmulla, 2001).

Ribjo splavnico, objekt, ki je v svojem delovanju zelo podoben splavnici za plovila, vendar je namenjen izključno transportu rib, obravnavamo v poglavju 2.6.

2.3.3 Fizično premeščanje rib

Fizično premeščanje rib je lahko začasen ukrep v času gradnje prečnih vodnih objektov, ko primerne ribjega prehoda še ni zgrajenega.

Kot dolgoročen ukrep, fizično premeščanje rib izjemoma pride v poštev, v primeru zagotavljanja prehodnosti čez zelo velike pregrade, kjer bi bila umestitev in izgradnja ribjega prehoda ob ali na pregradi izredno težko izvedljiva oziroma nemogoča. Vseeno tudi v teh primerih ne gre za ustrezen ukrep s katerim bi lahko učinkovito izboljšali vzdolžno povezanost posameznega odseka (Marmulla, 2001).

2.3.4 Izgradnja ribjega prehoda

Ribji prehodi so objekti, ki vodnim organizmom omogočajo gorvodno ali dolvodno migracijo preko neprehodnih prečnih vodnih objektov kot so pregrade (FAO/DVWK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013).

Namen izboljšanja vzdolžne povezanosti vodotokov ni omejen le na vzpostavitev objektov za prehajanje rib, vendar cilja na vse vodne organizme. »Ribji prehod«, »ribja steza« in »ribja lestev« so izrazi, katerih pomen je enak in so se skozi preteklost uveljavili kot izrazi za poimenovanje objekta, ki je opisan v prvi povedi tega poglavja. Večina gradnje ribjih prehodov v preteklosti, je bila osredotočena na zagotavljanje gorvodne prehodnosti, danes pa se vse bolj uveljavlja tudi pomen zagotavljanja dolvodne prehodnosti. Ker je potrebno pri zagotavljanju gor- in dolvodne migracije upoštevati različne pogoje, ki jih v večini primerov ni mogoče zadovoljiti v enem objektu, je potrebna gradnja dveh ločenih objektov, kjer en zagotavlja prehodnost za gorvodne migracije in drugi za dolvodne. Pri nekaterih prečnih objektih (predvsem nižji) je dovoljna prehodnost že omogočena (prelivanje vode čez nižje krone pregrad, prelivna polja hidroelektrarn,...). Pri hidroenergetskih objektih je pri dolvodni migraciji najpomembnejše z ustreznimi ukrepi preprečiti prehod rib preko turbin (FAO/DVWK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013).

V tem magistrskem delu smo zaradi narave obravnavanega objekta večjo pozornost posvetili zagotovitvi gorvodne prehodnosti hidroenergetskega objekta. Objekti in ukrepi za zagotavljanje dolvodne migracije vodnih organizmov so v krajšem obsegu obravnavani v poglavju 2.10.

2.4 IHTIOLOŠKI DEJAVNIKI NAČRTOVANJA RIBJIH PREHODOV

Pri načrtovanju ribjih prehodov moramo poleg hidroloških, hidravličnih in morfoloških dejavnikov, ki bodo vpisani v kasnejšem poglavju, zlasti v začetni fazi načrtovanja upoštevati predvsem ihtiološke dejavnike.

Pomembni so podatki o ciljnih migratornih vrstah, o ciklu migriranja (selitev, čas drsti), plavalnih sposobnosti rib in o njihovem vedenjskem vzorcu. Glede na tip vedenjskega vzorca posamezne ribje vrste je mogoče določiti način migriranja, globino gibanja, mesta, kjer se ribe zadržujejo ter odziv rib na različne hidravlične in svetlobne razmere (Kolman in sod., 2010).

Načrtovanje ribjega prehoda mora strmeti k temu, da dimenzioniran ribji prehod zagotavlja prehodnost vsem vrstam, starostnim skupinam in velikostim rib na obravnavanem območju (Kolman in sod., 2010; Schmutz in Mielach, 2013). Načrt mora biti zasnovan na osnovi fizičnih omejitev najšibkejšje ribje migratorne vrste in prilagojen najmanjšim ribam iz te vrste, kadar je le to mogoče glede na hidravlične in morfološke pogoje območja umestitve ribjega prehoda (Technical Supplement 14N, 2007).

Koraki pri upoštevanju ihtioloških dejavnikov (Technical Supplement 14N, 2007):

1. Identificiranje ciljnih vrst, za katere prioriteto dimenzioniramo ribji prehod.
2. Določitev selitvenih časov teh vrst in starostnih skupin, ki migrirajo.
3. Določitev fizičnih omejitev ciljnih vrst (hitrost plavanja, sposobnost premagovanja ovir).
4. Identifikacija dejavnikov v okolju, ki lahko vplivajo na ribjo zaznavnost in orientacijo (npr. temperatura vode, določitev glavnega toka, pretočni režim, hitrost vode).
5. Identifikacija relevantnih vedenjskih ribjih dejavnikov.

2.4.1 Ribji pasovi

Vsi vodotoki se v vzdolžni smeri spreminjajo tako po obliki struge kot po hitrosti toka, podlagi, globini in rastju. Posledica vseh teh dejavnikov so spremembe habitatov vzdolž vodotoka. Poznavanje interakcije med abiotскими in biotскими dejavniki v rekah, omogoča določiti meje med različnimi habitatami in jih med seboj razlikovati. Glede na te dejavnike in glede na vrstno sestavo rib lahko vzdolžne odseke reke razdelimo na različne ribje pasove. Ti pasovi so poimenovani glede na prevladujočo vrsto rib na odseku (FAO/DVWK, 2002):

a) **Zgornji postrvji pas**

Prevladujoča ribja vrsta v tem pasu je potočna postrv, sledi ji sulec. Za ta zgornji del vodotoka je značilen velik naklon struge, tok vode je hiter, voda pa je čista in nasičena s kisikom.

b) **Spodnji postrvji pas**

Prevladujoča ribja vrsta je še vedno potočna postrv, poleg zgoraj zapisanega sulca sta tu pogosti še babica in pisanec. Morfologija struge je podobna zgornjemu postrvjemu pasu, le da je tu naklon za odtenek manjši, manjša je tudi hitrost vode.

c) **Lipanski pas**

Najpogostejša in najpomembnejša ribja vrsta v tem pasu je lipan. Lipanski pas naseljujejo tudi ribje vrste zgornjega in spodnjega postrvjega ribjega pasu. Poleg teh rib so v tem pasu prisotne še klen, rdečeočka in golobček. Za ta ribji pas je značilno, da se hitrost vodnega toka umirja, v vodi je praviloma zaradi njene hladnosti prisoten visok delež kisika.

d) **Mrenski pas**

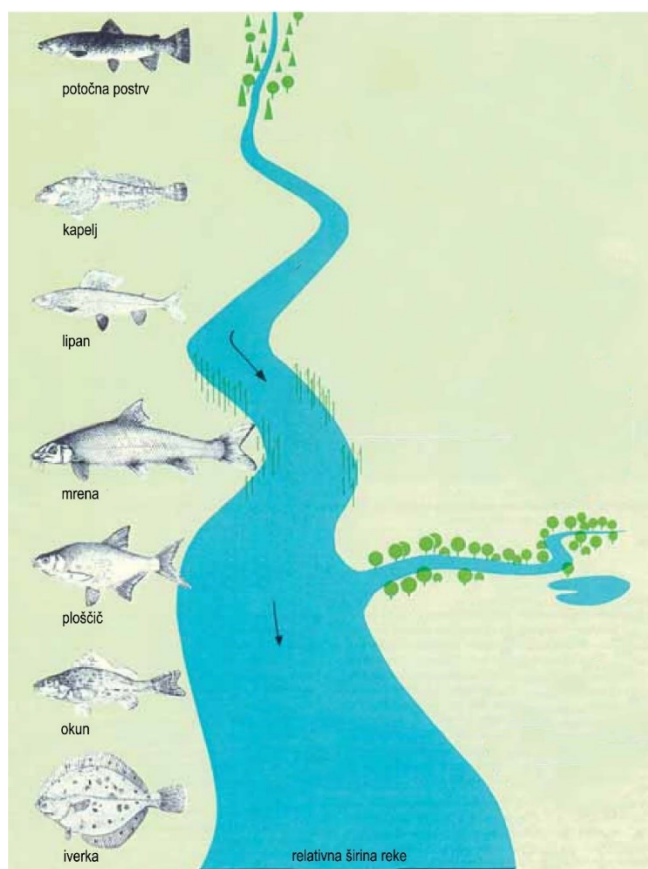
Med najpogostejšimi ribjimi vrstami tega pasu izstopa mrena. Salmonidne vrste, ki so prevladovali v zgornjih pasovih tu po številčnosti prekašajo ciprinidne, kot so podust, zelenika, ščuka, ... Številčnost različnih vrst je tu znatno večja kot v zgornjih pasovih. Za mrenski pas je značilen bolj umirjen tok ter širša in globlja struga.

e) **Ploščičev pas**

V ploščičevem pasu so vrste, ki so med najpogostejšimi v postrvjih pasovih in lipanskem ter so prilagojene za hitrejše vodne tokove, tu le še zelo malo številčno prisotne, oziroma jih tu ni več mogoče najti. Tudi mrena je tu redka vrsta. Zato pa so tukaj med najštevilčnejšimi ploščiči in druge ribje vrste prilagojene za mirnejši tok, kot sta krap in rdečeperka. Za ploščičev pas je značilen miren tok, vsebnost kisika se zmanjša. Značilni so rečni meandri.

f) **Okun-iverski pas**

Zadnji pas se nahaja v območju ustja reke, kjer se le ta izliva v morje. Pas je v območju vpliva plime, v njem pa so med pogostejšimi ribjimi vrstami okun, iverka in tudi nekatere ribje vrste značilne za ploščičev pas.



Slika 1: Najznačilnejše ribje vrste glede na vzdolžni odsek reke (prirejeno po FAO/DVWK, 2002)

2.4.2 Fizične karakteristike rib

V rečnem odseku so lahko mladice ali/in odrasle ribe prisotne v različnih delih leta in imajo različne plavalne sposobnosti in migratorne zahteve. Posledično mora biti zasnova ribjega prehoda na rečnem odseku načrtovana na podlagi dostopnih informacij o specifičnih fizičnih zmožnosti najšibkejših ribjih vrst. Te fizične karakteristike in sposobnosti variirajo glede na ribjo vrsto in starostno skupino. Najpomembnejše so oblika in velikost ribe ter plavalna sposobnost (Technical Supplement 14N, 2007).

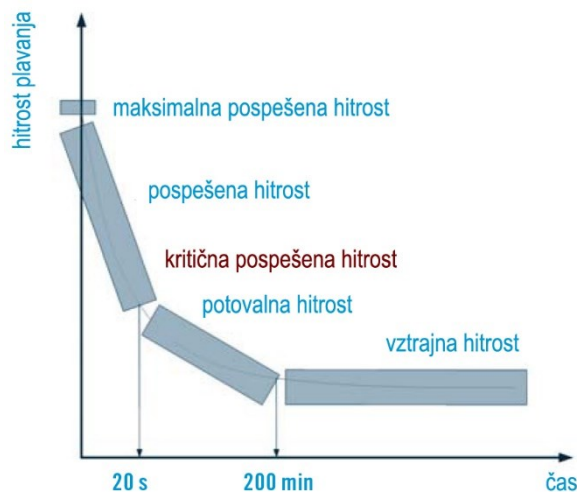
2.4.2.1 Plavalna sposobnost in sposobnost preskakovanja ovir

Plavalna sposobnost rib in sposobnost preskakovanja ovir spadata med najpomembnejše faktorje pri dimenzioniranju ribjega prehoda. Diktirata na primer izbiro tipa ribjega prehoda,

velikost naklona, število počivalnih bazenov ter hrapavost in obliko dna. Ribja plavalna hitrost ni konstantna, spreminja se glede na različne dejavnike, kot so oblika ribjega trupa, velikost in mišična razvitost ribe ter temperatura vode. Plavalna hitrost in sposobnost preskakovanja ovir sta ribji prilagoditvi na rečno morfologijo in karakteristike toka pri migraciji (Technical Supplement 14N, 2007).

Hitrost plavanja rib lahko, glede na njeno trajanje, kategoriziramo v štiri različne razrede (Beamish, 1978; Schmutz in Mielach, 2013):

- **Vztrajna hitrost** plavanja je nizka hitrost, ki jo ribe brez izčrpanja lahko vzdržujejo dalj časa (več kot 200 min – nekaj ur). Tako hitrost izražamo v enoti dolžina trupa na sekundo (DT/s) in znaša okoli 2 DT/s.
- **Potovalno hitrost** plavanja ribe lahko vzdržujejo krajši čas (od 20 s do 200 min), taka hitrost vodi v utrujenost mišic.
- **Pospešena hitrost** je najvišja hitrost večine rib, katero le te lahko ohranjajo le zelo kratek čas (do 20 s), slediti ji mora regeneracijska faza. **Kritična pospešena hitrost** je hitrost pri kateri se pri ribah po 20 sekundah pojavi odnašanje s tokom dolvodno. Jens in sod. (1997) so z laboratorijskimi raziskavami ugotovili, da kritična pospešena plavalna hitrost pri mladich in najmanjših ribjih vrstah znaša približno 0,35-0,6 m/s. Take zmerne hitrosti lahko dosežemo na dnu ali ob straneh ribjega prehoda z dovolj veliko hrapavostjo. Kritična pospešena hitrost igra ključno vlogo pri določanju mejnih vrednosti atrakcijskega toka.
- **Maksimalna pospešena hitrost**, je teoretična hitrost, ki jo lahko dosežejo nekatere ribe. Maksimalna pospešena hitrost, ki jo lahko doseže potočna postrv znaša 2-3 m/s, pri nekaterih ciprinidnih vrstah pa znaša 0,7-1,5 m/s (Schmutz in Mielach, 2013, povzeto po Jens, 1982 ter Jens in sod., 1997).



Grafikon 1: Hitrost plavanja v odvisnosti od časa trajanja (prirejeno po Schmutz in Mielach, 2013, ki se sklicuje na Pavlov, 1989 ter Clough in Turnpenny, 2001)

Kritična pospešena hitrost plavanja najslabšega plavalca iz najšibkejše oziroma ciljne vrste je merodajna hitrost pri dimenzioniranju pretoka skozi ribji prehod. Najslabši plavalci so v večini primerov ribje mladice ali najmanjše ribje vrste (kapelj, blistavec, pisanec) (FAO/DVWK, 2002). Glede na Seifert (2012) so maksimalne hitrosti toka pri srednjem pretoku v zgornjem toku rek 1,5-2,2 m/s in v spodnjem toku 0,8-1,4 m/s.

Ribji prehod je potrebno dimenzionirati z ozirom na to, da je ribam omogočen prehod preko ribjega prehoda brez tega, da bi se ribe pri prehajanju popolnoma izčrpale. Praviloma ribji prehod dimenzioniramo tako, da se hitrost pretoka vzdolžno skozi prehod odsekoma spreminja. To dosežemo z različnimi nakloni, zožitvami, razširitvami, različnimi globinami, bazeni, počivalnimi/umeritvenimi odseki. Hitrost toka vode se lahko z ustreznimi ukrepi spreminja tudi v vertikalni osi v prečnem prerezu ribjega prehoda (npr. grobo dno). Več o dimenzioniranju ribjega prehoda tudi glede na potrebno količino pretoka vode skozi prehod v naslednjih poglavjih.

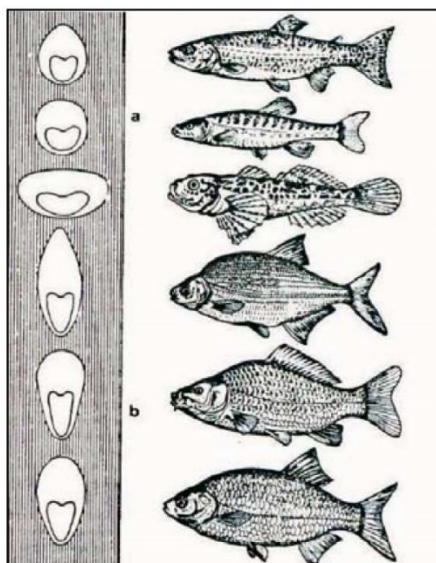
Sposobnost preskakovanja ovir je funkcija plavalne hitrosti in globine vode. Skakalna višina je največja višina, ki jo je določena ribja vrsta pri določeni starosti še zmožna doseči. Večje in starejše ribe praviloma lahko dosežajo največje plavalne hitrosti, zato so tudi skakalne višine pri njih največje, vseeno lahko pri nekaterih vrstah ugotovimo, da imajo zelo slabo, oziroma skoraj nično sposobnost preskakovanja ovir, ne glede na njihovo starost (Technical Supplement 14N, 2007). Natančne dimenzije skakalnih in plavalnih sposobnosti za posamezno vrsto je težko določiti oziroma posplošiti, saj so le to odvisne od različnih funkcij, kot so velikost ribe, starost, temperatura vode in globina. V literaturi je mogoče najti nekatere okvirne ocene teh vrednosti. V preglednici 1 so prikazane nekatere zbrane skakalne in plavalne sposobnosti, ki jih je iz različnih literatur zbral Kolman (2014), ki je v svojem delu ocenjeval vzdolžno povezanost vodotokov na porečju Sore. Bertok (1989) ocenjuje, da so ciprinidne vrste zmožne preskakovati ovire višine 20-30 cm, salmonidne pa 50-60 cm.

Preglednica 1: Skakalne in plavalne sposobnosti nekaterih ribjih vrst (Kolman, 2014)

Ime	Skakalne sposobnosti (m)	Eksplozivna hitrost plavanja (m/s)	Vir
potočna postrv	1,10	4,64	Meixler in sod., 2009
ščuka	1,49	5,40	Meixler in sod., 2009
vrste postrvi	1,03	4,50	Meixler in sod., 2009
lipan	< 0,96	1,2 – 2,3	Kemp in sod., 2008
mrena	ne	2,1 – 3,4	Kemp in sod., 2008
klen	ne	1,0 – 2,1	Kemp in sod., 2008

2.4.2.2 Oblika in velikost rib

Oblika ribjega trupa je optimalno prilagojena rečnemu režimu habitata v katerem živijo in migrirajo. Ribe v zgornjih rečnih odsekih, v katerih vlada hitrejši tok, so na to prilagojene s torpedno obliko trupa, s tem nudijo manjši upor toku vode (npr. potočna postrv, šarenka, pisanec), med tem ko rečne odseke z majhnim tokom (ali jezera) naseljujejo ribje vrste s širšim in zajetnejšim trupom (ploščič, krap, rdečeperka) (FAO/DVWK, 2002).



Slika 2: Prilagoditev oblike ribjega trupa glede na različne pretočne režime (Technical Supplement 14N, 2007)

- a) Ribje vrste v hitrih pretočnih režimih: potočna postrv, šarenka, pisanec
- b) Ribje vrste v počasnih pretočnih režimih: ploščič, krap, rdečeperka

Obstaja močna povezava med velikostjo specifične ribe in velikostjo ribjega prehoda, ki je dimenzioniran za to ribjo vrsto. Izbira ribje vrste, ki diktira velikost ribjega prehoda, je odvisna od tipa rečne struge in ribjega pasu ter vrstne sestave rib, ki naseljujejo obravnavano območje. Po navadi je to največja vrsta, ki glede na svojo velikost potrebuje največ prostora. V preglednici 2 so prikazane merodajne velikosti nekaterih večjih ribjih vrst, ki v veliki meri naseljujejo tudi porečje Donave.

Preglednica 2: Merodajne velikosti nekaterih večjih ribjih vrst, ki naseljujejo povodje Donave in jih je potrebno upoštevati pri dimenzioniranju velikosti elementov ribjega prehoda (Schmutz in Mielach, 2013, povzeto po DWA, 2010)

Ribja vrsta		Dolžina telesa [m]	Širina telesa [m]
Jeseter	<i>Acipenser sturio</i>	3,0	0,36
Som	<i>Silurus glanis</i>	1,6	0,22
Ščuka	<i>Esox lucius</i>	1,0	0,07
Sulec	<i>Hucho hucho</i>	1,0 / 1,2	0,10
Jezerska postrv	<i>Salmo trutta f. lacustris</i>	1,0	0,10
Mrena	<i>Barbus barbus</i>	0,8	0,09
Krap	<i>Cyprinus carpio</i>	0,8	0,13
Ploščič	<i>Abramis brama</i>	0,7	0,07
Jez	<i>Leuciscus idus</i>	0,7	0,08
Klen	<i>Leuciscus cephalus</i>	0,6	0,07
Lipan	<i>Thymallus thymallus</i>	0,5	0,05
Potočna postrv	<i>Salmo trutta fario</i>	0,5	0,05
Menek	<i>Lota lota</i>	0,7	0,10

2.4.3 Zaznavnost toka, orientacija in vedenjski dejavniki pri migraciji

Osnovna znanja o poznavanju zaznavnosti toka, orientaciji in o obnašanju rib med plavanjem lahko združimo v sledeča: vse ribe so zmožne zaznati hitrost pretoka, ga uporabiti za orientacijo in plavati proti njemu (pozitivna zaznavnost) (Lucas in Baras, 2001). Če hitrost toka pade pod mejno vrednost pozitivne zaznavnosti glede na ribjo vrsto ali ribjo starost, ribe izgubijo pozitivno zaznavno orientacijo. Zato mora biti hitrost pretoka v migracijskem območju večja od zaznavne hitrosti (Schmutz in Mielach, 2013). Najmanjše pozitivne zaznavne hitrosti glede na nekatere ribje vrste in njihovo starost, so prikazane v preglednici 3.

Preglednica 3: Najmanjše pozitivne zaznavne hitrosti glede na nekatere ribje vrste in njihovo starost (Schmutz in Mielach, 2013, povzeto po različnih avtorjih)

Ribja vrsta	Starostna skupina / velikost	Pozitivna zaznavna hitrost [m/s]
kapelj, babica, pisanec	mladice	0,15
potočna postrv, lipan, klenič	≤ 12 cm	0,15
večina cipridnih, salmonidnih vrst, odrasle ribe manjših ribjih vrst	mladice	0,15
večina cipridnih (mrena, podust), salmonidnih (potočna postrv, lipan) in druge družine	odrasle ribe	0,20
anadromne ribje vrste	odrasle ribe	> 0,3
sulec	odrasle ribe	> 0,3

Ribe za orientacijo uporabljajo predvsem tok, ki teče direktno na njihov trup, medtem ko stranski šibkejši tokovi ostanejo nezaznavni. Pri gorvodni migraciji večina ribjih vrst plava znotraj ali vzporedno z glavnim tokom, pri tem različnim ribjim vrstam in njihovim starostnim skupinam odgovarjajo različne hitrosti vodnega toka. V primeru ko je na odseku več različno hitrih tokov, se ribe v večini orientirajo po tistem z najvišjo hitrostjo. Turbulentne razmere v toku, povratni tokovi ali odseki mirnega toka motijo ali onemogočijo ribam gorvodno orientacijo in migracijo (Pavlov in sod., 2000). Poznavanje ribje orientacije v vodnem toku in drugih vedenjskih dejavnikov je pri dimenzioniranju ribjega prehoda pomembno pri pravilnem umeščanju ribjega prehoda v prostor in dimenzioniranju vhoda v ribji prehod, ki je eden od ključnih elementov pri izgradnji funkcionalnega objekta za zagotavljanje gorvodne prehodnosti vodnih organizmov. Hitrost atrakcijskega toka (tok, ki teče iz ribjega prehoda in »privablja« ribe) naj bi se nahajala v območju najnižje pozitivne zaznavne hitrosti in kritične pospešene hitrosti, pri čemer so dobre rezultate pokazale uporabljene hitrosti, ki so znašale okoli 70-80 % kritične hitrosti (Pavlov, 1989). Pavlov navaja, da so hitrosti toka na vhodu med 0,7 in 1,0 m/s primerne za večino rib v spodnjem rečnem toku. Salmonidnim in anadromnim vrstam pa bolj odgovarjajo hitrosti med 2,0 in 2,4 m/s (Schmutz in Mielach, 2013, povzeto po Lariner 1992). Atrakcijski tok hitrosti okoli 1,0 m/s naj bi še vedno »privabljal« večje in hitrejše ribje vrste, brez da bi izključil šibkejše (DWA, 2005).

V splošnem tako ribe gorvodno migrirajo v glavnem toku ali vzporedno z njim, v kolikor jim to fizične sposobnosti omogočajo. Če izgubijo zaznavnost orientacijskega toka, ali naletijo na neprehodno oviro, začnejo bočno iskati druge možne poti navzgor, vendar samo v radiju iskanja, ki poteka do mej glavnega toka. V sledenju najhitrejšega toka delujočega na njihov trup, se bodo vedno vračale k glavnemu toku, če ne zaznajo drugega močnejšega toka (Seifert, 2012).

2.5 NAČRTOVANJE RIBJEGA PREHODA

2.5.1 Konstantnost delovanja ribjega prehoda

Ribji prehod naj bi deloval skozi celotno leto (BMFLUW, 2012). Vendar pogosto ni mogoče dimenzionirati takega ribjega prehoda, ki bi bil prehodni pri vsaki pretočni situaciji. Prav tako je glede na selitvene potrebe rib v nekaterih primerih nepotrebno, da ribji prehod deluje 365 dni na leto (Schmutz in Mielach, 2013). Zato se je v praksi uveljavilo dimenzioniranje ribjega prehoda, ki bi deloval najmanj 300 dni na leto (BMFLUW, 2012). Pri dimenzioniranju ribjega prehoda vseeno strmimo k temu, da prehod deluje čim daljše obdobje v letu (tudi več kot 300 dni na leto), predvsem pa glede na čas, ko se ribe selijo zaradi reprodukcije (Schmutz in Mielach, 2013). V ribjem prehodu je tudi v obdobju, ko le ta ne obratuje, potrebno zagotoviti minimalni pretok skozi prehod in s tem omogočiti preživetje vodnim organizmom, ki prehoda ne prečkajo v času obratovalnih pretokov. Pri dimenzioniranju ribjega prehoda stremimo k temu, da vodni organizmi prehod prečkajo v čim krajšem možnem času. Pri ribjih prehodih, ki izboljšujejo prehodnost krajših odsekov vodotoka (zgolj čez pregrado), je zaželeno, da ribji prehod ne postane nadomestni habitat, saj lahko zgodi, da se na določenem odseku ribjega prehoda začasno naseli plenilska vrsta rib, ki tako onemogoča varen prehod ostalim ribjim vrstam in vodnim organizmom. Drugače je to v primeru zagotavljanja daljše prehodnosti (na primer pri zaporednem nizu pregrad), kjer z večjim posegom v vodotok vplivamo na obstoječe habitate in jih želimo nadomestiti z izgradnjo ribjega prehoda, ki ima tudi vlogo nadomestnega habitata (na primer sonaravni obtočni kanali).

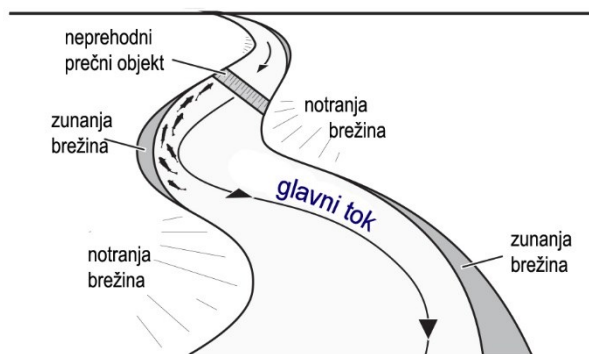
2.5.2 Zaznavnost ribjega prehoda

Izgradnja še tako dobrega ribjega prehoda je lahko brez pomena, če ga ne umestimo (predvsem vhoda) na pravo lokacijo ob neprehodni oviri. Lokacija ima pomemben vpliv na zaznavnost ribjega prehoda. Neustrezno umeščenega ribjega prehoda ribe ne morejo ali težko najdejo, kar vodi v neučinkovitost zasnovane rešitve. Ribe lahko pri iskanju neustrezno umeščenega ribjega prehoda porabijo veliko časa in energije.

V rekah, kjer ni neprehodnih prečnih ovir, imajo ribe za migracijo na voljo celoten pretočni profil, ribji prehod, ki ga zgradimo ob ali na neprehodni oviri pa je relativno majhen objekt, zlasti v večjih rekah. Dimenzije ribjega prehoda so v večini primerov omejene z hidravličnimi, ekonomskimi in prostorskimi omejitvami, zato sta umeščanje ribjega prehoda in zagotavljanje ustreznega atrakcijskega toka zelo pomembna elementa dimenzioniranja učinkovitega ribjega prehoda, katerima se bomo posvetili v nadaljnjih poglavjih.

2.5.2.1 Optimalna lokacija ribjega prehoda

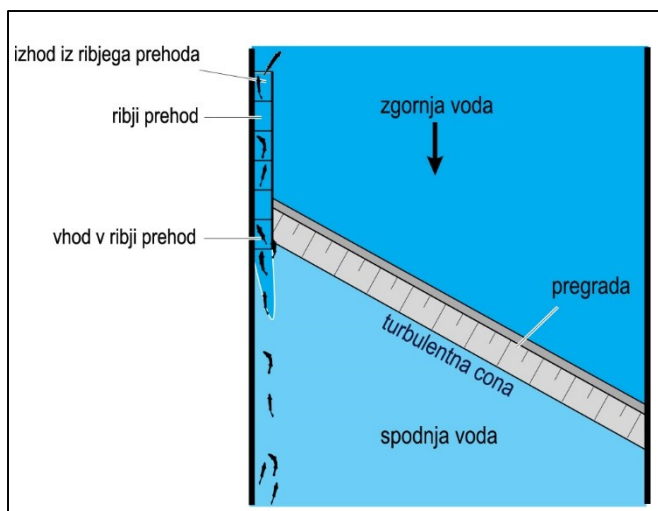
Ribe in drugi vodni organizmi se navadno selijo v ali ob glavnem toku. Tako mora biti vhod v ribji prehod lociran na brežini ob glavnem toku. Prednost take postavitve je, da se ribji prehod lažje poveže z substratom na rečnem dnu ali brežinah. Slika 3 prikazuje potek glavnega toka v reki z rahlimi zavoji (DVWK, 2002). Ribe, ki plavajo v ali ob glavnem toku do ovire priplavajo ob zunanji brežini, tako mora biti vhod v ribji prehod lociran kar najbližje točki, kjer ribe priplavajo do ovire (Schmutz in Mielach, 2013).



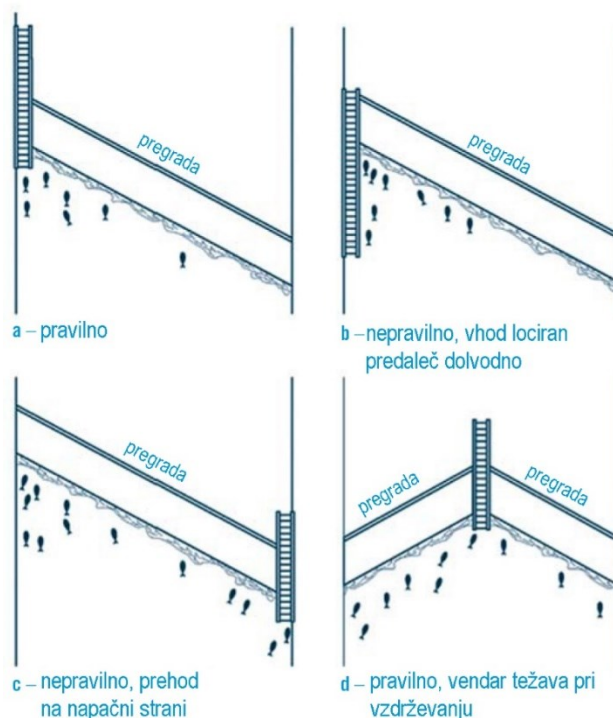
Slika 3: Prikaz poteka glavnega toka in ribje migracije v reki z rahlimi zavoji (prirejeno po DVWK, 2002)

Pri izbiri lokacije ribjega prehoda je potrebno upoštevati tip in lastnosti neprehodne ovire (Seifert, 2012):

- Pri **pregradah brez izrabe vode** ni drugih konkurenčnih vodnih tokov pri zagotavljanju atrakcijskega toka. V splošnem mora biti ribji prehod lociran blizu brežine in glavnega vodnega toka (v skladu s prikazanim na sliki 3).
- Pri **diagonalnih vodnih objektih** naj bi bil vhod lociran v ozkem kotu med pregrado in brežino (slika 4). Na sliki 5 so prikazane nekatere pravilne in nepravilne lokacije ribjega prehoda v primeru diagonalnega vodnega objekta.

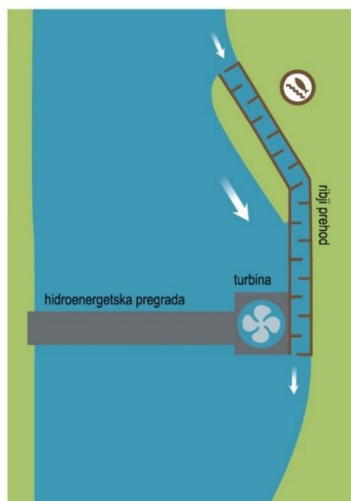


Slika 4: Lokacija ribjega prehoda pri diagonalnih vodnih objektih (prirejeno po Larinier, 1992)



Slika 5: Prikaz pravih in nepravilnih lokacij ribjega prehoda in njenega vhoda v primeru diagonalnega neprehodnega objekta (Larinier, 2002)

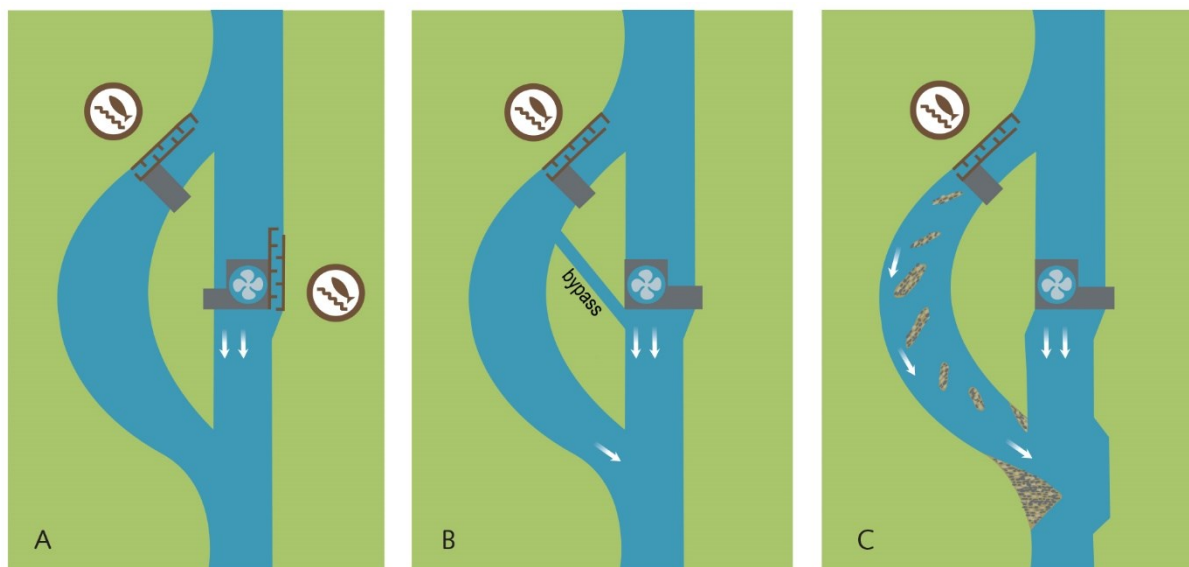
- Pri **hidroenergetskih pregradah** v večini primerov glavni tok vodi ribe do iztoka iz turbin. Zato mora biti vhod v ribji prehod lociran blizu tega iztoka (slika 6).



Slika 6: Lokacija ribjega prehoda v primeru hidroenergetske pregrade (prirejeno po Seifert, 2012)

- **Hidroenergetske pregrade z derivacijskim kanalom** zahtevajo posebno pozornost pri izbiri optimalne lokacije ribjega prehoda. V glavnem kanalu oziroma obstoječi strugi je v večini primerov pretok manjši od tistega, ki priteče iz turbin skozi derivacijski kanal. Tako ribe privablja prevladujoči pretok iz derivacijskega kanala. Manjše so tudi pretočne hitrosti zaradi v večini primerov večjega pretočnega profila ter zlasti v času manjših sezonskih pretokov v reki. Ribji prehod lociran ob pregradi ima lahko zaradi tega zmanjšano učinkovitost. Najboljša rešitev za zagotavljanje najučinkovitejšega prehajanja vodnih organizmov preko takega tipa neprehodne ovire bi bila izgradnja

dveh ribjih prehodov, enega ob pregradi in enega ob strojnici (slika 7A). V primerih ko to ni mogoče, večjo zaznavnost toka v glavni strugi lahko dosežemo z izgradnjo »bypass« kanala, ki iz derivacijskega kanala dovaja dodatni pretok v glavno strugo (slika 7B) ali z ureditvijo pretočnega profila glavne struge (poglobitev, usmeritev glavne struge – jezbece, zoženje prečnega profila struge), prikazano na sliki 7C.



Slika 7: Ureditve ribjega prehoda v primeru hidroenergetske pregrade z derivacijskim kanalom (prirejeno po Seifert, 2012)

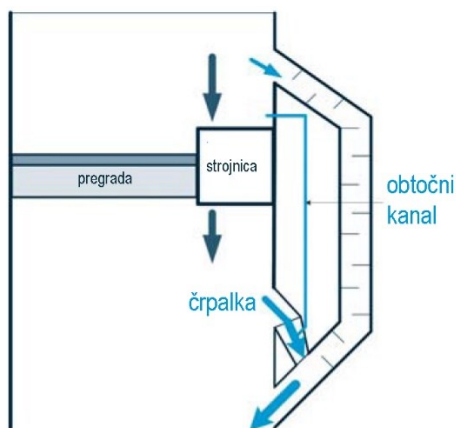
- V primeru **dolгих pregrad** (velika dolžina krone pregrade), ki so zgrajene popolnoma **pravokotno na strugo**, je optimalna izgradnja dveh ribjih prehodov, enega ob vsaki brežini (Schmutz in Mielach, 2013).

2.5.2.2 Vhod v ribji prehod in atrakcijski tok

Lokacijo vhoda ribjega prehoda smo delno obravnavali že v prejšnjem poglavju. Tu se bomo predvsem osredotočili na to kako v vhodu in na iztoku iz njega zagotavljamo ustrezni atrakcijski tok in kako dimenzioniramo elemente ribjega vhoda, da le ta omogoča kar se da nemoteno prehajanje rib iz struge v ribji prehod.

Vhod ribjega prehoda mora biti v skladu s pogoji opisanimi v prejšnjem poglavju lociran na mestu, kjer je do pregrade priplava večina migratornih rib. V večini primerov je to direktno pod pregrado, v območju podslapja ali ob iztoku iz turbin. Zato mora biti atrakcijski tok, ki privablja ribe v ribji prehod, iz vhoda usmerjen v območje največje koncentracije rib ob pregradi. Če je mogoče naj bi bil vhod lociran ob brežini, vzporedno z glavnim tokom, tako da ribe v prehod prehajajo brez menjavanja smeri plavanja. Schmutz in Mielach (2013) navajata, da je najoptimalnejši kot navezave ribjega prehoda na glavni tok do 30°. Če je kot večji sicer to omogoča, da atrakcijski tok seže širše v strugo, a hkrati to pomeni, da ga ribe, ki plavajo ob brežini, zaznajo šele tik pred vhodom. Če je vhod v prehod lociran predaleč dolvodno od pregrade, ga bodo ribe težko našle (glej sliko 5, primer b) (DVWK, 2002). Učinkovitost atrakcijskega toka je povezana s hitrostjo toka, pretokom in lokacijo vhoda. Operativni pretok, ki zagotavlja prehajanje rib skozi ribji prehod, včasih sam ne zagotavlja učinkovitega atrakcijskega toka na vhodu ribjega prehoda. V tem primeru je potrebno uvajanje dodatnega

pretoka v najnižji del ribjega prehoda s črpalko ali obtočnim kanalom (slika 8). Tak pretok iz obtočnega kanala se mora pred vtokom v ribji prehod umiriti. To se najlažje doseže z umirjevalnim bazenom. Pri večjih rekah je kot alternativa možna umestitev manjše dodatne hidroelektrarne za atrakcijski tok, ki tako izrablja del pretoka, ki teče mimo glavne hidroelektrarne (Schmutz in Mielach, 2013).

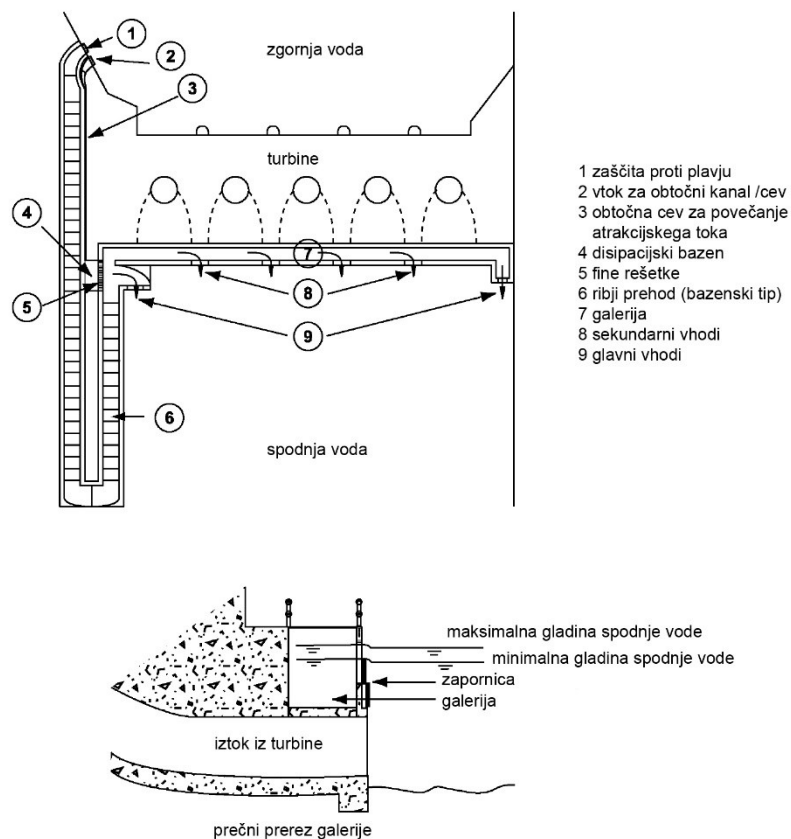


Slika 8: Povečanje atrakcijskega toka s črpalko ali obtočnim kanalom (Schmutz in Mielach, 2013)

Učinkovitost atrakcijskega toka je odvisna od hitrosti in prostornine vode. Medtem ko hitrost vodnega toka omejujejo plavalne sposobnosti najšibkejših rib, je mogoče povečati volumen vode in s tem izboljšati atrakcijski tok. Atrakcijski tok naj bi bil vsaj 1-5 % velikosti konkurenčnega toka. Pri optimalno postavljenih ribjih prehodih v večjih rekah (srednji pretok $> 50 \text{ m}^3/\text{s}$) je zadovoljiv atrakcijski pretok v velikosti 1 %, pri srednjih (srednji pretok $25\text{-}50 \text{ m}^3/\text{s}$) pa okoli 1-2 %. Pri manjših rekah (srednji pretok $< 25 \text{ m}^3/\text{s}$) je potreben večji odstotek; po navadi za atrakcijo zadošča že sam operativni pretok, ki teče skozi ribji prehod (Larinier, 2002).

Poleg zagotavljanja zaznavnosti ribjega prehoda je potrebno ribji vhod dimenzionirati tako, da bo različnim ribjim vrstam in starostim omogočeno, da nemoteno in brez večjih težav zaplavajo v ribji prehod tudi v času nizkih pretokov in nizkih gladin spodnje vode. Dno vhoda ribjega prehoda je potrebno povezati z dnom rečne struge. Ustrezna je izgradnja kamnite rampe različnih zrnivosti, v naklonu do 1:2. Ta olajša prehodnost na dnu živečim ribam in vodnim organizmom.

Spoznanje, da veliko ribjih vrst pri migraciji proti neprehodni pregradi, priplava do turbulentnega območja ob iztoku iz turbin in direktno do pregrade, je vzpodbudilo dimenzioniranje posebnih vhodov v ribji prehod, vhoda z galerijami (slika 9). Galerija z različnimi vhodi, ki poteka vzporedno s pregrado po celi dolžini območja iztoka iz turbin, tako v takem primeru izboljša učinkovitost ribjega prehoda (Larinier, 2002). Tak tip ribjega vhoda ni primeren za na dnu živeče ribje vrste (DVWK, 2002).



Slika 9: Shematski prikaz ribjega vhoda z galerijo (Prirejeno po Larinier, 2002)

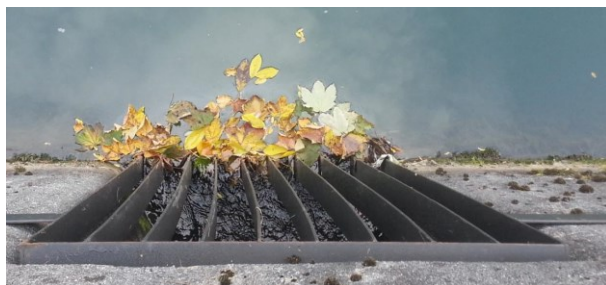
2.5.3 Izhod iz ribjega prehoda

Izhod iz ribjega prehoda je hkrati vtočno mesto za operativni pretok, ki zagotavlja prehajanje rib skozi ribji prehod, in atrakcijski tok na vhodu ter iztočna točka, ki vodi ribe gorvodno po vodotoku.

V primeru ko se ribji prehod nahaja ob hidroenergetski pregradi, mora biti izhod iz ribjega prehoda dovolj oddaljen od vtoka v turbine, tako da ribe, ki priplavajo iz ribjega prehoda, tok vode ne odnese proti vtoku v turbine (DVWK, 2002). Pri turbinskih vtočnih hitrostih do 0,5 m/s je priporočljiva razdalja med vtokom v turbine in iztokom iz ribjega prehoda najmanj 5 m. Pri višjih hitrostih je potrebna razdalja večja od 10 m, pri večjih rekah pa naj bi bile te razdalje segale že od 50 do 100 m (Schmutz in Mielach, 2013).

Če je zgornja vodna gladina konstantna, dimenzioniranje izhoda ni problematično. V primeru pa, da gladina zgornje vode variira, so za pravilno delovanje ribjega vhoda potrebni različni ukrepi. Temu ustreza ali izbira takšnega tipa ribjega prehoda, katerega funkcionalnost ni korenito zmanjšana zaradi spreminjanja zgornje gladine ali pa moramo v dimenzioniranje vključiti ustrezne strukturne prilagoditve izhoda. Pri razliki zgornje vodne gladine od 0,5 do 1 m se je v praksi kot učinkovit tip ribjega prehoda uveljavil ribji prehod z vertikalnimi režami, ki spada med bazenske tipe ribjih prehodov. Kjer pa je razlika v gladinah večja od enega metra, je za ohranitev funkcionalnosti prehoda priporočljiva izgradnja dodatnih izhodov na različnih višinah (DVWK, 2002).

Iztok iz ribjega prehoda mora biti zaščiten pred vtokom plavja in plavin v prehod. Ukrepi za zaščito so lahko različni: plavajoče zaščitne zavese, rešetke, deflektorji (Larinier, 2002). Neustrezna izbira in namestitvev lahko stanje še poslabšata. Na sliki 10 je prikazano prejšnje (levo) in izboljšano (desno) stanje na izhodu iz ribjega prehoda ob Plečnikovi zapornici na Ambroževem trgu v Ljubljani. Pravokotno na smer toka vode postavljene rešetke na izhodu, so povzročale mašenje izhoda s plavjem. Kot ustrezen rešitev se je v fazi obnovitve objekta izkazala namestitvev jeklenega deflektorja, ki omogoča tudi dostop v ribji prehod v času vzdrževanja (Ruprecht, 2015).



Slika 10: Neustrezna (levo) in izboljšana (desno) zaščita iztoka na ribjem prehodu ob Plečnikovi zapornici na Ambroževem trgu v Ljubljani (Brilly in sod., 2015)

Pri izbiri lokacije izhoda je potrebno paziti, da se le ta ne nahaja v območju kroženja vodnih tokov, saj se tako plavje, ki se odbije od reflektorjev ali rešetak, ne odplavi dolvodno (Larinier, 2002). Zlasti pri prodonosnih rekah v zgornjem toku je potrebno pri izbiri lokacije upoštevati tudi možnost prekomernega vnosa plavin v ribji prehod in nevarnost zamašitve izhoda oziroma dela ribjega prehoda. Tako izhod ne sme biti lociran na območjih odlaganja plavin, npr. na notranjih strani zavoja rečne struge.

Tudi če uspešno upoštevamo vse omenjene omejitve in ukrepe pri izbiri lokacije ribjega prehoda, je za ohranjanje funkcionalnosti prehoda zelo pomembno redno vzdrževanje in izvajanje monitoringa delovanja.

2.5.4 Hidrološka analiza in obratovalni pretok

V prvo fazo načrtovanja ribjega prehoda spada hidrološka analiza pretokov vodotoka na katerem nameravamo zgraditi ribji prehod. S pomočjo te analize lahko določimo krivuljo trajanja pretokov. Pri analizi je posebna pozornost namenjena najmanjšim pretokom, saj ti vplivajo na izbiro obratovalnega pretoka ribjega prehoda.

2.5.5 Hidravlična analiza ribjega prehoda

Osnovni namen hidravlične analize je ocena pretočnih razmer v ribjem prehodu. V večini primerov je to iterativni postopek v katerem iščemo ravnovesje med razpoložljivim pretokom ter omejitvami v prostoru in ihtiološkimi dejavniki in je postopek s katerim ocenimo morebitne potrebne objekte in naprave za uravnavanje pretoka. Med pomembne hidravlične in morfološke dejavnike, ki jih preučujemo v prvi fazi dimenzioniranja ribjega prehoda, spadajo pretočni režimi, hitrost vode, globina, obstoječe »poti«² ribjih migracij in drstišča, identifikacija potencialnih območji odlaganja plavin in erozijskih območji ter vodostaji zgornje in spodnje vode. Ključna hidravlična dejavnika sta določitev pretočnih režimov nad, pod in ob

potencialnem območju izgradnje ribjega prehoda ter določitev gladine zgornje in spodnje vode ob teh pretokih, ki jih ocenimo s hidrološko analizo (Technical Supplement 14N, 2007).

V primeru ko ribji prehod načrtujemo na že obstoječi hidroenergetski pregradi, je možno, da ustrezni hidrološki in hidravlični podatki že obstajajo, kot na primer pretočna krivulja, ki opisuje zvezo med gladino vode in pretokom. Ti podatki nam lahko služijo tudi za umerjanje našega modela ali preverbo izračunov.

Razlika med gladino zgornje vode na predvidenem izhodu iz ribjega prehoda in gladino spodnje vode na vhodu predstavlja celotno višino, na katero dimenzioniramo ribji prehod. Ribji prehod dimenzioniramo glede na ihtiološke dejavnike, kot so ribja plavalna sposobnost, zaznavnost, velikost in oblika (poglavje 2.4.). Tako ti diktirajo mejne vrednosti pretočnih hitrosti, energije vodnega toka in višinske razlike skozi ribji prehod. Postopek izračuna posameznih vrednosti je odvisen od izbranega tipa ribjega prehoda, za ribji prehod z vertikalnimi režami je prikazan v poglavju 2.7.4.

2.5.5.1 Mejne in priporočljive vrednosti hidravličnih veličin

V tem poglavju podajamo iz različnih literatur zbrane nekatere mejne in priporočljive vrednosti hidravličnih veličin na katere je priporočljivo dimenzionirati ribje prehode. Te vrednosti so podali različni avtorji na podlagi njihovih izkušenj, analiz in raziskav. Mejne vrednosti hidravličnih veličin morajo biti izbrane glede na ihtiološke dejavnike ribjih vrst ter morfološke dejavnike območja na katerem načrtujemo ureditev ribjega prehoda. V splošnem se hitrost toka, disipacija energije in hrapavost zmanjšujejo dolvodno v poteku naravne rečne struge (Schmutz in Mielach, 2013). Ravno zato je večina avtorjev mejne in priporočljive vrednosti razdelila glede na ribje pasove.

a) Hitrost vodnega toka

Maksimalna hitrost vodnega toka (v_{max}) je določena za območja zoženj pri toku skozi režo ali pri toku čez preliv. Po FAO/DVWK (2002) naj maksimalna hitrost na teh odsekih ne bi smela presegati 2 m/s. Pri načrtovanju ribjega prehoda se je potrebno izogibati nastanku turbulentnega toka. Nemško združenje za vodo, odpadne vode in odpadke (DWA, 2014) maksimalne hitrosti podaja natančneje, v odvisnosti od višinske razlike, tipa ribjega prehoda in ribjega pasu (preglednica 4).

Preglednica 4: Priporočene maksimalne hitrosti vodnega toka v ribjem prehodu [m/s], glede na celotno višinsko razliko, tip ribjega prehoda in ribjega pasu (DWA, 2014)

Celotna višinska razlika	Zgornji postrvji pas	Spodnji postrvji pas	Lipanski pas	Mrenski pas	Ploščičev pas	Okun-iverski pas
Bazenski tip ribjega prehoda						
< 3 m	2.2	2.1	2	1.8	1.7	1.6
3 do 6 m	2.1	2	1.9	1.7	1.6	1.5
6 do 9 m	2	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4
> 9 m	1.9	1.9	1.8	1.7	1.7	individualna ocena

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 4

Obtočni kanal						
< 5 m	2	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4
5 do 10 m	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2
> 10 m	1.1	1.1	1	0.9	0.9	0.8
Drča						
< 5 m	2	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4
5 do 10 m	1.9	1.8	1.8	1.6	1.5	1.4
> 10 m	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2

Pri načrtovanju nismo omejeni zgolj z maksimalnimi hitrosti. Zaradi zaznavnosti toka in orientacije je potrebno zagotavljati tudi minimalne hitrosti toka. Te pogojujejo pozitivne zaznavne hitrosti, ki so za nekatere ribje vrste in njihove različne starosti podane v preglednici 3.

b) Turbulenca in disipacija energije

Turbulenca negativno učinkuje na plavalno sposobnost vodnih organizmov. Turbulenca toka skozi ribji prehod mora biti kar se da nizka, zato da lahko skozi prehod prehajajo vsi vodni organizmi, ne glede na njihovo plavalno sposobnost (FAO/DWVK, 2002). Larinier (1992) priporoča, da energijska disipacija v vsakem bazenu bazenskega tipa ribjega prehoda ne preseže 150 do 200 W/m³. DWA (2014) podaja natančnejše vrednosti, različne glede na tip ribjega prehoda in ribji pas. Prikazane so v preglednici 5.

Preglednica 5: Maksimalne vrednosti disipacije energije v ribjem prehodu, po DWA (2014)

Ribji pas	Maksimalne vrednosti disipacije energije [W/m³]	
	Bazenski tip ribjega prehoda	Drča
Zgornji postrvji pas	250	300
Spodnji postrvji pas	225	275
Lipanski pas	200	250
Mrenski pas	150	200
Ploščičev pas	125	175
Okun-iverski pas	100	150

Avstrijsko zvezno ministrstvo za kmetijstvo in gozdarstvo, okolje ter upravljanje voda (BMLFUW, 2012) na drugi strani v svojih smernicah navaja manjše maksimalne vrednosti od nemških. Prikazane so v preglednici 6. Predpisane vrednosti so manjše, ker so podane za najmanjše ribje vrste in njihove mladice v ribjem pasu.

Preglednica 6: Maksimalne vrednosti disipacije energije v ribjem prehodu, po BMLFUW (2014), podane za najmlajše ribje vrste in njihove mladice v ribjem pasu

Maksimalne vrednosti disipacije energije [W/m ³]	
Ribji pas	Bazenski tip, drča, obtočni kanal
Zgornji postrvji pas	160
Spodnji postrvji pas	140
Lipanski pas	130
Mrenski pas	120
Ploščičev pas	100
Okun-iverski pas	80

c) Dolžina, naklon, počivališča

Tako kot smo zapisali že v poglavju 2.4.2.2 je velikost (dolžina in širina) največje ribje vrste, ki se nahaja na območju urejanja, odločujoč faktor pri določanju dimenzij ribjega prehoda. Merodajne velikosti nekaterih največjih ribjih vrst v porečju Donave so prikazane v preglednici 2. Na dimenzije bazenov, prelivov, odprtín, rež, itd. poleg tega vplivata tudi željena hitrost in (mogoči) pretok (FAO/DWVK, 2002).

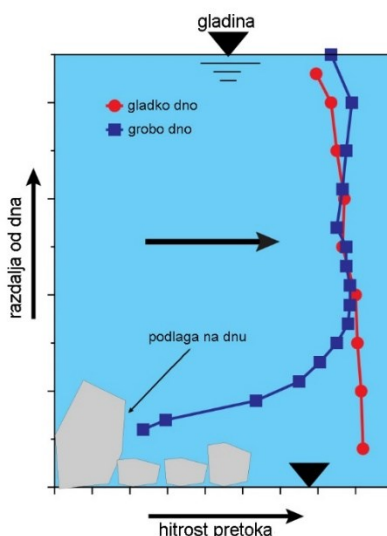
Pri prehodih tehnične narave (bazenski tipi) naj bi bil maksimalni naklon od 1:5 do 1:10 (FAO/DWVK, 2002). Za prehode podobe naravni strugi (npr. obtočni kanal) in drče pa naj bi bil manjši od 1:15 (zgornji postrvji ribji pas) oziroma 1:50 (mrenski pas) (Schmutz in Mielach, 2013). Pri naravni strugi podobnim ribjim prehodom je ne glede na te vrednosti priporočljivo, da le ti potekajo pod podobnim naklonom, kot poteka naravna struga na tem območju (FAO/DWVK, 2002).

Posebno pozornost je potrebno nameniti umeščanju počivališč oziroma bazenov za počivanje, zlasti pri daljših ribjih prehodih in pri tistih tipih, pri katerih se pojavljajo daljša območja turbulentnega ali hitrega toka. V teh bazenih in območjih ribe pri prehajanju skozi ribji prehod lahko počijejo in naberejo energijo za nadaljnji vzpon. Pri nekaterih tipih ribjih prehodov, kot je bazenski tip, gradnja dodatnih počivališč ni potrebna, saj že z svojo zasnovo na delih ribjega prehoda omogočajo vzpostavitev območji z mirnim tokom, kjer ribe lahko počivajo. Pri drugih, kot je na primer prehod Denil, pa je izgradnja počivališč na določeni razdalji obvezna za ustrezno funkcionalnost ribjega prehoda. Dimenzije počivališč naj bi bile take, da v njih disipacija energije ne preseže 50 W/m³ (FAO/DWVK, 2002). V dosegljivi literaturi sicer ni podanih natančnih podatkov na kolikšni razdalji bi se morali graditi počivalni bazeni pri posameznem tipu ribjega prehoda. V FAO/DWVK (2002) so takšne razdalje navedene le za primer prehoda Denil, kjer naj bi bili počivalni bazeni nameščeni na vsakih 10 m za salmonidne ribje vrste in na vsakih 6 do 8 m za ciprinidne vrste. Na splošno pa je umestitev počivališč možen rezervni ukrep pri vseh ribjih prehodih, kjer z drugačnimi ukrepi (zmanjšanje naklona, spreminjanjem dimenzij elementov ribjega prehoda, ...) ne moremo omiliti kritičnih pretočnih razmer v ribji stezi, ali pa to ni mogoče v primeru ozke omejitve v prostoru.

2.5.6 Dno ribjega prehoda

Dno ribjega prehoda naj bi bilo po celotni dolžini pokrito z najmanj 20 cm grobo podlago oziroma substratom. Priporočljivo je, da je ta podlaga podobna podlagi na dnu naravne rečne struge na območju urejanja. S hidravličnega vidika je groba podlaga potrebna zaradi doseganja večjega upora toku vode na dnu prehoda in s tem doseganja manjših hitrosti

pretoka ob dnu. Ob dnu v območju manjših hitrosti tako lahko prehajajo šibkejše ribe in drugi vodni organizmi (FAO/DWVK, 2002). Vpliv grobega dna na vertikalno razporeditev hitrosti vode v prečnem profilu je viden na sliki 11.



Slika 11: Razporeditev hitrosti toka v ribjem prehodu, primerjava med gladkim in grobim dnom (FAO/DWVK, 2002)

Zaželeno je, da je podlaga sestavljena iz različno velikih grobih kamnov, tako se v podlagi ustvarijo različne reže in prostori, ki ponujajo zavetje za manjše šibkejše ribe in vodne nevretenčarje (slika 12) (Seifert, 2012).



Slika 12: Grobo zrnati kamni različnih velikosti, ki sestavljajo dno ribjega prehoda (Seifert, 2012)

Grobo dno ribjega prehoda mora biti povezano tako po celotni dolžini ribjega prehoda, kot tudi na izhodu in vhodu z naravnim rečnim dnom. V nekaterih bolj tehničnih ribjih prehodih, kot je na primer prehod Denil, postavitve grobega dna ni mogoča. To onemogoča prehajanje vodnim vretenčarjem, kar pomeni, da tak prehod ne izpolnjuje osnovnega namena gradnje ribjega prehoda, to je zagotavljanje prehodnosti za vse vodne organizme (FAO/DWVK, 2002).

2.6 TIPI RIBJIH PREHODOV

Med tipe ribjih prehodov bi lahko umeščali tudi splavnico za plovila in fizično premeščanje rib, a smo jih zaradi njunih specifičnih lastnosti obravnavali že med ukrepi za izboljšanje prehodnosti prečnih vodnih objektov in vzdolžne povezanosti vodotokov v poglavju 2.3.

Ribje prehode v grobem delimo na sonaravne, tehnične in sonaravno-tehnične tipe ribjih prehodov. V naslednjih poglavjih sledi kratek opis posameznega tipa, izpostavili smo pozitivne in negativne lastnosti posameznega tipa. Bolj detajlno je v poglavju 2.7 opisano načrtovanje bazenskega tipa ribjega prehoda z vertikalnimi režami, katerega obravnavamo tudi v primeru dimenzioniranja ribjega prehoda na jezu HE Soteska.

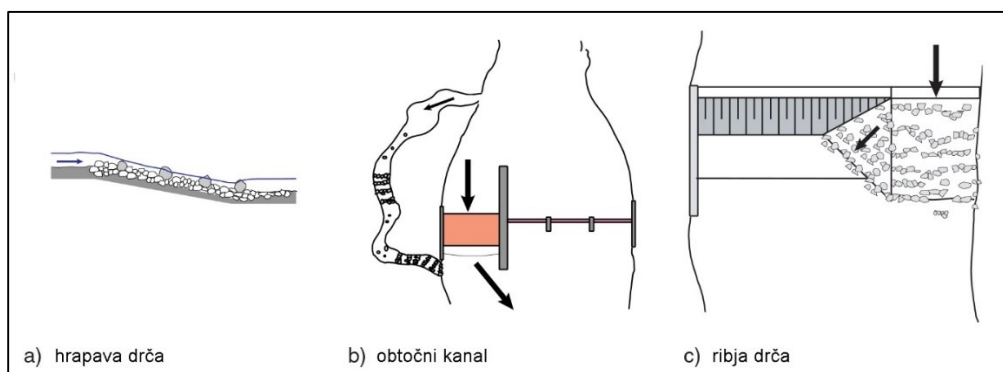
2.6.1 Sonaravni tipi ribjih prehodov

Sonaravno zgrajeni ribji prehodi s svojimi lastnostmi posnemajo tok v naravni rečni strugi z večjimi nakloni dna. Pri gradnji se uporablja enake ali podobne materiale, ki so prisotni v naravni strugi na tem območju. V splošnem sonaravni tipi ribjih prehodov lažje zadoščajo omejitvam ihtioloških dejavnikov kot tehnični tipi. Omogočajo neprekinjeno povezovanje biotopov ali pa se na njihovem območju ustvarijo novi, s sonaravnim izgledom pa se lepše umeščajo v naravno okolje (FAO/DWVK, 2002).

Sonaravni tipi ribjih prehodov so v večini primerni za zagotavljanje prehodnosti pri manjših višinskih razlikah z manjšimi nakloni. Za razliko od tehničnih tipov zavzamejo precej več prostora in njihova izgradnja ni mogoča na območjih s prostorskimi omejitvami, z vidika hidravličnega načrtovanja pa jih je pogostejše težje načrtovati. So tudi investicijsko dražji od tehničnih tipov.

Med sonaravne tipe ribjih prehodov spadajo (FAO/DWVK, 2002):

- hrapava drča,
- obtočni kanal,
- ribja drča.



Slika 13: Sonaravni tipi ribjih prehodov (FAO/DWVK, 2002)

2.6.1.1 Hrapava drča

Hrapava drča poteka čez celoten prečni profil vodotoka. Poleg tega, da drča omogoča prehodnost vodnim organizmom, so njene osnovne funkcije lahko: akumulacija vode, stabilizacija rečnega dna ali disipacija energije. Nadaljnje se od drugih ribjih tipov ločijo po tem, da po drči teče celoten rečni pretok, zaradi česar mora biti le ta dimenzionirana na nizke in visoke pretoke, visoke hitrosti in možne turbulence (Schmutz in Mielach, 2013).

Preglednica 7: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: hrapava drča (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013)

+
Dobra zaznavnost (ni konkurenčnega toka). Majhna občutljivost na plavje in plavine – manjši stroški za vzdrževanje. Omogočajo gorvodno in dolvodno prehodnost. Novo habitatno območje za vodne organizme. Najbolj sonaravni izgled med tipi ribjih prehodov. Primerna za manjše padce in višinske razlike med gladino zgornje in spodnje vode.
-
Relativno draga izgradnja. Problem pri zagotavljanju prehodnosti pri nizkih pretokih. Ni primerna za premagovanje večjih višinskih razlik. Za izgradnjo potrebujejo veliko prostora.

2.6.1.2 Ribja drča

Ribja drča je v bistvu hrapava drča, le da ta ne poteka po celotnem prečnem profilu. Jez oziroma pregrado lahko nadomestimo s hrapavo drčo po celotnem prečnem profilu vodotoka le takrat, ko ni potrebe po uravnavanju gladin in ko je na voljo zadostni pretok. To ni mogoče v primerih, ko je pregrada namenjena za potrebe hidro energetike, poplavne varnosti, namakanja ali ribogojnice. V takih primerih je pri zagotavljanju prehodnosti pri manjših višinskih razlikah med zgornjo in spodnjo vodo mogoča izvedba delne hrapave drče oziroma ribje drče. Ribja drča je običajno integrirana direktno v jezovno zgradbo in je zasnovana tako, da v času nizkih in srednjih pretokov celotni tok teče po drči, medtem ko do prelivanja čez prelivni del jezu pride šele pri visokih pretokih. Širino drče določa potreben pretok ob času gorvodnih selitev ribjih vrst. V primerih ko čez ribji prehod teče celotni rečni pretok, lahko vhod v drčo lociramo tudi bolj dolvodno od pregrade. Drčo je potrebno dimenzionirati tako, da prenese tudi obtežbe in sile v času visokih voda oziroma poplav (FAO/DWVK, 2002).



Slika 14: Ribja drča na reki Sieg v Nemčiji (FAO/DWVK, 2002)

Preglednica 8: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: ribja drča (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013)

+
Dobra zaznavnost (običajno ni konkurenčnega toka). Majhna občutljivost na plavje in plavine – manjši stroški za vzdrževanje. Omogočajo gorvodno in dolvodno prehodnost. Nadomestni habitat za vodne organizme. Sonaravni izgled (vseeno slabši od hrapave drče). Primerna za manjše padce in višinske razlike med gladino zgornje in spodnje vode.
-
Občutljivost na nihanje zgornje gladine. Relativno draga izgradnja. Problem pri zagotavljanju prehodnosti pri nizkih pretokih. Ni primerna za premagovanje večjih višinskih razlik. Za izgradnjo potrebujejo veliko prostora.

2.6.1.3 Obtočni kanal

Obtočni kanal je sonaravni tip ribjega prehoda z lastnostmi podobnimi naravni strugi, ki poteka ob pregradi. S tem ko poteka popolnoma ločeno od pregrade, nima vpliva na konstrukcijo in delovanje pregrade. Skozi kanal teče samo del rečnega pretoka, toliko, da je v njem zagotovljena prehodnost. Obtočni kanal običajno s svojo dolžino zavzame veliko prostora, zato je glavni dejavnik pri izbiri prehoda prostor, ki je na voljo. Po drugi strani pa s svojo dolžino in izgledom sodi med ene najbolj sonaravnih tipov ribjih prehodov. Z izgradnjo obtočnega kanala ustvarimo tudi dodatne habitate za vodne organizme (FAO/DWVK, 2002).

Preglednica 9: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: obtočni kanal (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013)

+
Nadomestni habitat za vodne organizme. Sonaravni izgled. Omogočajo prehod vsem vodnim organizmom. Zelo primerne za umestitev ob obstoječe pregrade, saj z njimi ne posegamo v konstrukcijo pregrade.
-
Za izgradnjo potrebujejo izredno veliko prostora (sploh v primeru premagovanja velikih višinskih razlik). Občutljivost na nihanje zgornje gladine (potreben dodaten objekt na izhodu). Relativno draga izgradnja. Pri navezavi na spodnjo vodo (na vhodu) je mogoče potrebna dogradnja z tehničnim tipom ribjega prehoda.

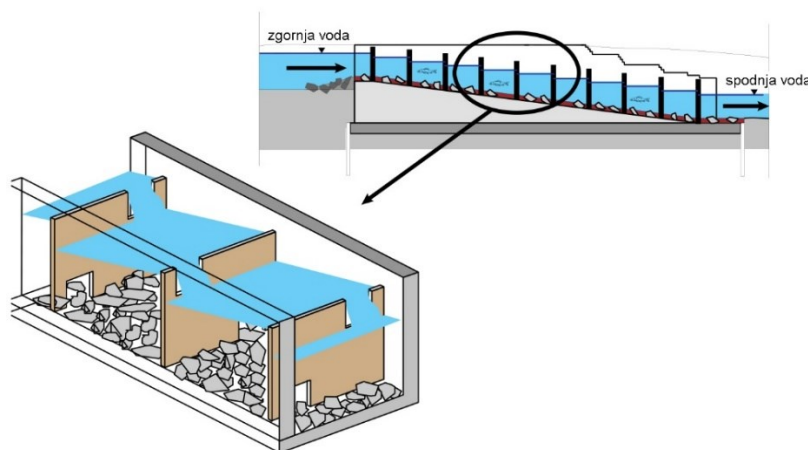
2.6.2 Tehnični tipi ribjih prehodov

Med tehnične tipe ribjih prehodov spadajo (FAO/DWVK, 2002):

- bazenski tip,
- bazenski tip z vertikalnimi režami,
- prehod Denil,
- prehod za jegulje,
- ribja dvigala,
- ribja splavnica.

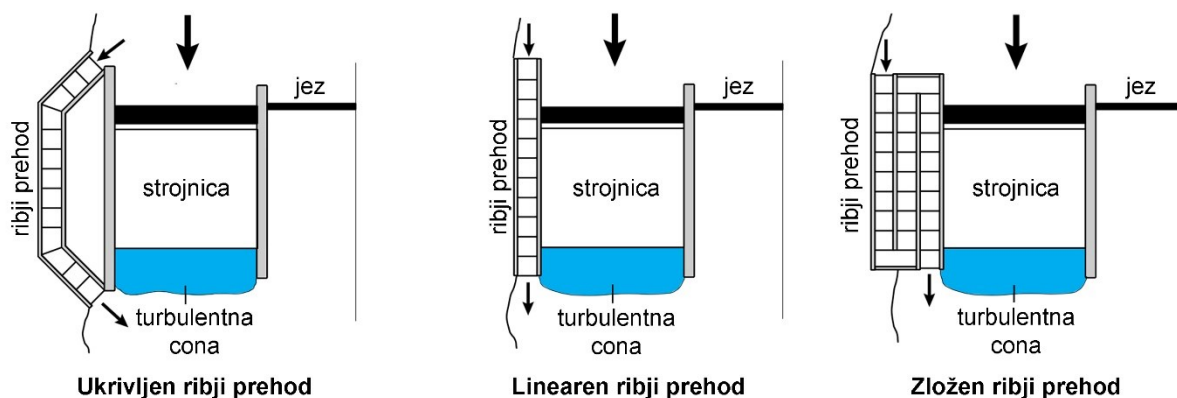
2.6.2.1 Bazenski tip

Pri bazenskem tipu ribjega prehoda zgornjo in spodnjo vodo ob neprehodni pregradi povežemo z umetnim kanalom, kjer se voda preliva skozi odprtine na prečnih stenah, ki ustvarjajo stopničaste bazene po celotni dolžini ribjega prehoda. Pri tem se stopenjsko disipira potencialna vodna energija. Pri najbolj osnovni zasnovi bazenskega tipa ribjega prehoda so prečne stene brez odprtin in tako ribe migrirajo v toku, ki se preliva čez stene. Pri drugih izvedbah pa ribe prehajajo skozi odprtine na dnu ali na vrhu prečne stene. Visoke hitrosti toka morajo ribe premagati le pri toku skozi odprtine ali pri prelivanju čez stene, v bazenih pa se voda umiri in ribam omogoča počitek in zmanjšanje hitrosti plavanja. Dno mora biti ustrezno urejeno, da omogoča prehod tudi vodnim nevretenčarjem in slabše plavalno sposobnim ribam. Pri tem je potrebno opozoriti, da pri izvedba bazenskega tipa, kjer se voda preliva samo čez prečno steno (brez odprtin na dnu), tako ne omogoča prehajanja vsem vodnim organizmom in ne izpolnjuje ene izmed temeljnih zahtev pri zagotavljanju vzdolžne povezanosti vodotokov (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013).



Slika 15: Vzdolžni prerez bazenskega tipa, z detajlnim prikazom možnih oblik prečnih sten. Možna je tudi izvedba s polno prečno steno, kjer se voda preliva samo čez steno (FAO/DWVK, 2002)

Ribji prehod običajno poteka linearno v eni vzdolžni liniji med zgornjo in spodnjo vodo, mogoče pa so tudi izvedbe, kjer je tlorsni potek ukrivljen, ali pa se ribji prehod »zloži« enkrat ali večkrat za 180° (slika 16).



Slika 16: Različne oblike bazenskih tipov ribjih prehodov, glede na njihov tlorsni potek (Larinier, 1992)

Preglednica 10: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: bazenski tip (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013)

+
Ne zavzamejo veliko prostora. V ustrezni izvedbi (odprtina ob dnu in grobo dno) in ob rednem vzdrževanju omogočajo prehod vsem vodnim organizmom. Za delovanje potrebujejo relativno majhne pretoke.
-
Zlasti tip s polno prečno steno ni primeren pri večjih nihanjih zgornje gladine. Pri bazenskem tipu s polno prečno steno je onemogočeno prehajanje vodnih organizmov ob dnu prehoda (vodni nevretenčarji, slabši plavalci). Odprtine (zlasti tiste ob dnu) se zelo hitro zamašijo s plavinami, zato je potrebno pogosto vzdrževanje.

2.6.2.2 Bazenski tip z vertikalnimi režami

Bazenski tip z vertikalnimi režami bi pravzaprav lahko obravnavali kot enega izmed podtipov bazenskega tipa prehoda v prejšnjem poglavju. Vseeno pa s svojimi lastnosti omogoča široko učinkovitejšo uporabo od drugih in je v svetu zelo razširjen, zato ga lahko obravnavamo kot poseben tip ribjega prehoda. Načrtovanje takšnega tipa ribjega prehoda smo podrobneje obravnavali v poglavju 2.7., v spodnji preglednici pa so podane pozitivne in negativne lastnosti tega tipa ribjega prehoda.



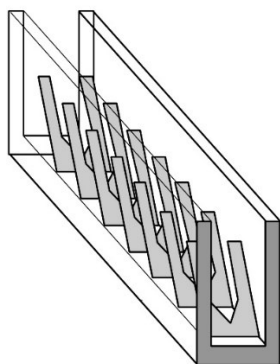
Slika 17: Bazenski tip z vertikalnimi režami, ki predstavlja zgornji tehnični del največje ribje steze v Sloveniji pri HE Blanca (Vir: Avtor)

Preglednica 11: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: bazenski tip z vertikalnimi režami (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013)

+
Ne zavzamejo veliko prostora. V ustrezni izvedbi omogočajo prehod vsem vodnim organizmom. Za delovanje potrebujejo relativno majhne pretoke. Primerni za premeščanje večjih višinskih razlik. Nihanje zgornje gladine (pri enem izhodu do cca. 1 m) ne vpliva na delovanje prehoda. Nihanje spodnje gladine bistveno ne vpliva na delovanje prehoda. Vertikalne reže napram odprtinami v osnovnem bazenskem tipu se težje zamašijo s plavinami.
-
Nenaravni izgled (zlasti pri povsem betonski izvedbi)

2.6.2.3 Prehod Denil

Prehod je ime dobil po svojem avtorju, belgijskemu inženirju Denilu, ki je načrte za tak prehod podal že v začetku 20 stoletja. Denilov prehod je sestavljen iz ravnega kanala v katerem je nameščen niz poševnih, gorvodno usmerjenih ovir oz. odbojnikov v obliki črke »U«. Taka postavitev omogoča, da se v prostoru med odbojniki ustvari proti tok in večja disipacija energije, zaradi interakcije tako postavljenih odbojnikov pa se v spodnjem delu ob odbojnikih ustvari relativno nizka hitrost toka. Zaradi te lastnosti je lahko prehod Denil zgrajen pod večjim naklonom in v krajših dolžinah kot ostali tipi ribjih prehodov. Prav zaradi svoje oblike in delovanja pa ima tudi številne negativne lastnosti. Ribe morajo prehod preplavati v enem taktu konstantnega hitrega plavanja, zato je ob večjih dolžinah prehoda potrebna umestitev vmesnih bazenov za počivanje, kot je to zapisano že v poglavju 2.5.5.1. V prehodu ni mogoče zagotoviti konstantnega grobega dna, ki bi omogočal prehajanje tudi vodnim nevretenčarjem in najšibkejšim ribjim osebkom. Ker tako prehod ne zagotavlja prehodnosti za vse vodne organizme ga lahko uporabimo le v primeru izjemnih prostorskih omejitev ali pa vzporedno ob prehodu, ki zagotavlja prehodnost slabšim plavalcem in vodnim nevretenčarjem.



Slika 18: Levo – shematski prikaz vzdolžnega prereza prehoda Denil, desno – Prehod Denil z vmesnimi počivališči na reki Strom v Nemčiji (FAO/DWVK, 2002)

Preglednica 12: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: prehod Denil (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013)

+	
Ne zavzame veliko prostora.	
Primeren tudi za krajše razdalje in večje naklone.	
Običajno zagotavlja učinkovit zaznavni tok na vhodu.	
Ni toliko občutljiv na nihanje spodnje vodne gladine.	
-	
Za delovanje potrebuje relativno visoke pretoke.	
Občutljivost delovanja na nihanje zgornje vodne gladine.	
Ob večji dolžini je potrebna umestitev bazenov za počivanje.	
Onemogočeno je prehajanje vodnim organizmom ob dnu prehoda (vodni nevretenčarji, slabši plavalci).	
Odprtine se zelo hitro zamašijo s plavinami in plavjem, zato je potrebno redno vzdrževanje.	

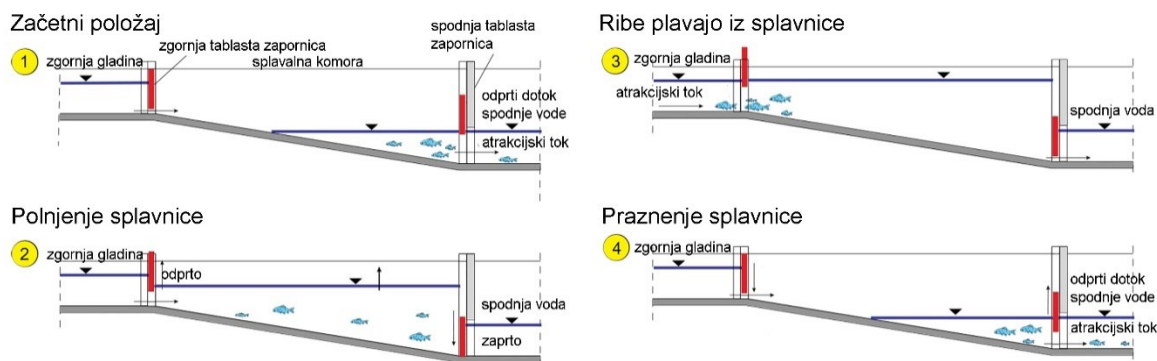
2.6.2.4 Prehod za jegulje

Tako kot že samo ime pove, je ta tip prehoda namenjen izključno jeguljam. Življenjski prostor jegulj je v območju izliva večjih rek v morje (FAO/DWVK, 2002). Plavalne sposobnosti jegulj so zelo omejene in povezane s hrapavim substratom. V prehodu moramo zagotoviti izredno

nizke hitrosti toka, za zagotovitev hrapavega substrata pa je možna uporaba šopov ščetin iz različnih materialov (Kolman, 2014).

2.6.2.5 Ribja splavnica

Ribja splavnica deluje na podoben način kot splavnica za plovila, ki smo jo opisali v poglavju 2.3.2., le da je ta namenjena izključno za prehod rib in drugih vodnih organizmov. Sestavlja jo splavalna komora ter vhodni in izhodni objekt z zapornicami (Schmutz in Mielach, 2013). Postopek delovanja ribje splavnice je prikazan na sliki 19.



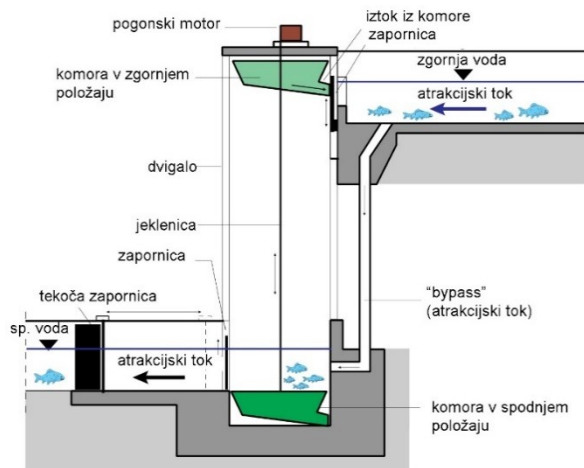
Slika 19: Delovanje ribje splavnice (FAO/DWVK, 2002)

Preglednica 13: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: ribja splavnica (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013)

+
Ne zavzame veliko prostora. Primerna za premagovanje večjih višinskih razlik. Primerna za večje ribje vrste, kot je jester.
-
Giblivi deli, kontrolni sistem in zapornice potrebujejo pogosto (drago) vzdrževanje. V praksi so se izkazale za neučinkovite, lahko služijo kot alternativni prehod za podobne ribje vrste kot je jester.

2.6.2.6 Ribje dvigalo

V primerjavi z ribjo splavnico, ribje dvigalo ne transportira rib v z vodo napolnjenem kanalu, vendar v ločenih komorah. Apliciramo jih lahko za skoraj vse višinske razlike. Ribe v komore privablja atrakcijski tok. Velikost komore je odvisna od reprezentativne ribje vrste (Schmutz in Mielach, 2013).



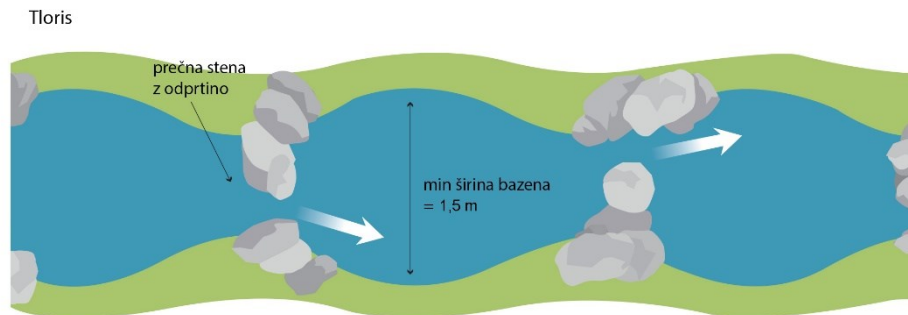
Slika 20: Princip delovanja ribjega dvigala (Larinier, 1992)

Preglednica 14: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: ribje dvigalo (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013)

+
Ne zavzame veliko prostora. Primerno za premagovanje večjih višinskih razlik. Bolj primerno za ribe s slabšimi plavnimi sposobnostmi.
-
Ne omogoča prehoda vodnim nevretenčarjem. Ne omogoča dolvodne migracije. Težko prilagodljiv na nihanje spodnje vode. Pogosto vzdrževanje. Draga investicija.

2.6.3 Sonaravno-tehnični ribji prehod: Sonaravni bazenski tip ribjega prehoda

Sonaravni bazenski tip ribjega prehoda predstavlja kombinacijo tehničnega bazenskega tipa in sonaravnega obtočnega kanala. Prečne stene za razliko od tehničnega bazenskega tipa tu sestavljajo večje skale oz. balvani (premera 0,5 do 0,8 m), ki so postavljeni tako, da je med njimi odprtina (minimalne širine 0,25 m), ki omogoča prehod vodnim organizmom tudi v času nizkih pretokov. Višinska razlika med bazeni ne sme biti večja od 0,1 do 0,2 m, hitrosti toka v odprtinah ne smejo presegati 1,4 do 2 m/s, maksimalne vrednosti disipacije energije pa znašajo od 100 do 200 W/m³ (Schmutz in Mielach, 2013). Pri tej izvedbi ribjega prehoda je pomembno, da so odprtine v posameznih prečnih stenah v tlorisu zamaknjene ena na drugo (slika 21). Kot pri ostalih ribjih prehodih mora dno sestavljati grob material v minimalni višini 0,2 m (Seifert, 2012). Take ribje prehode se gradi do naklona največ 1:10 (DVWK, 2002). Minimalna globina vode v bazenih pa naj bi znašala 0,6 m (0,8 za sulca) (Schmutz in Mielach, 2013).



Slika 21: Skica sonaravnega bazenskega tipa (Seifert, 2012)

Karakteristik delovanja takšnega tipa ribjega prehoda ni mogoče v naprej natančno izračunati. Možno je, da ribji prehod takoj po izgradnji in ob različnih pretočnih režimih ne bi deloval optimalno, zato je treba takšen ribji prehod med gradnjo testirati in opazovati njegovo delovanje ter po potrebi spreminjati postavitev skal in odprtín v prečnih stenah bazenov (DVWK, 2002).

Preglednica 15: Pozitivne in negativne lastnosti ribjega prehoda: bazenski tip z vertikalnimi režami (FAO/DWVK, 2002; Schmutz in Mielach, 2013)

+	
Zavzamejo manj prostora od popolnoma sonaravnih tipov.	
V ustrezni izvedbi omogočajo prehod vsem vodnim organizmom.	
Nihanje spodnje gladine bistveno ne vpliva na delovanje prehoda.	
Sonaravni izgled (naravni materiali).	
-	
Premeščajo lahko manjše naklone od tehničnih bazenskih tipov.	
Za delovanje potrebujejo večje pretoke od bazenskega tipa z vertikalnimi režami.	
Nihanje zgornje gladine vpliva na delovanje prehoda.	
Pred izgradnjo ni mogoče natančno izračunati karakteristik delovanja ribjega prehoda – potrebno opazovanje in morebitno spreminjanje postavitve elementov ribjega prehoda.	

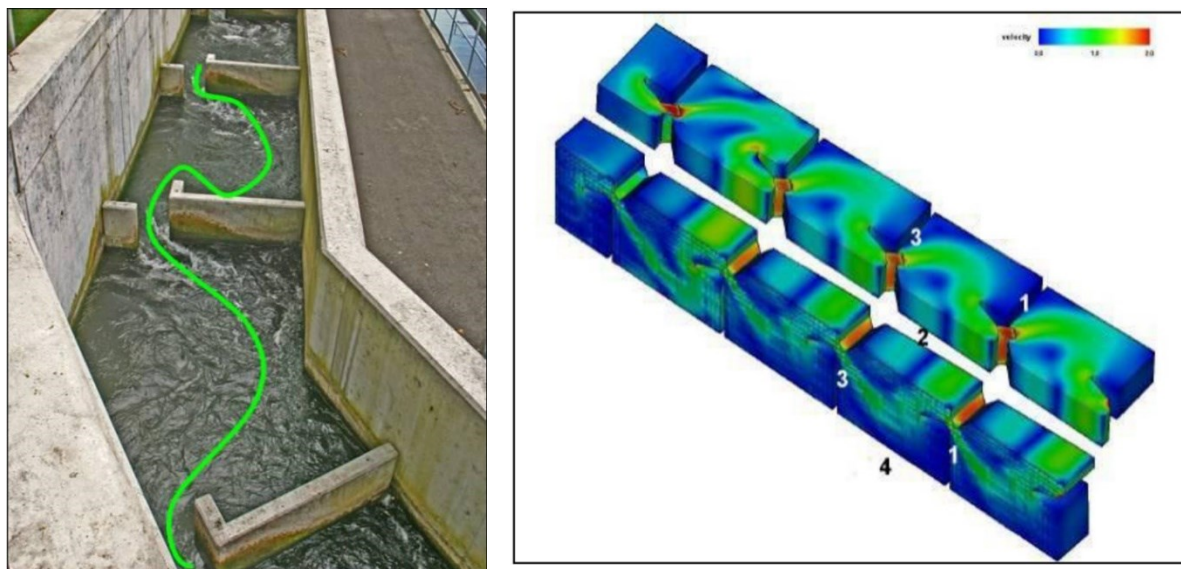
2.7 NAČRTOVANJE BAZENKEGA TIPA Z VERTIKALNIMI REŽAMI

2.7.1 Osnovne značilnosti bazenskega tipa z vertikalnimi režami

Bazenski tip ribjega prehoda z vertikalnimi režami je sestavljen iz vzdolžnega, v rahlem naklonu postavljenega kanala, ki je razdeljen v posamezne bazene (Katopodis, 1992). Kot že samo ime pove, je to bazenski tip ribjega prehoda, pri katerem so posamezni bazeni med seboj ločeni s prečnimi stenami z vertikalno režo, ki poteka po celotni višini prečne stene. Prečna stena ima lahko eno ali dve vertikalni reži, odvisno od količine pretoka, ki je na voljo. Prehod z eno režo je en izmed najpogostejših uporabljenih ribjih prehodov v preteklosti in to ostaja tudi še danes. Pri takšnem tipu so reže v posameznih prečnih stenah vedno na isti strani (za razliko od odprtín v bazenskem tipu, kjer so te razporejene navzkrižno) (FAO/DWVK, 2002). Prečne stene bazenov so postavljene na konstantnih razdaljah in konstantnih višinskih razlikah. Vodni tok teče vzdolžno po kanalu skozi vertikalne reže v prečnih stenah med bazeni in tako se iz bazena v bazen zmanjšuje kinetična in potencialna energija vodnega toka (Katopodis, 1992). Potek hitrosti toka skozi bazene je prikazan na sliki 22. Običajno je celoten ribji prehod zgrajen iz betona, lahko pa tudi iz lesa in jeklenih elementov (Schmutz in Mielach, 2013). Globina vode

in hitrost v vsakem bazenu je odvisna od širine prekatov in količine pretoka, ki teče skozi ribji prehod (Technical Supplement 14N, 2007).

Takšna zasnova ribjega prehoda omogoča, da se hitrejši tok ustvari samo na krajših odsekih v režah, tako ribam pri plavanju skozi prehod ni potrebno ohranjati konstantne visoke hitrosti plavanja, vendar s pospešeno hitrosti plavajo samo skozi reže, v mirnejši vodi med bazeni pa lahko počijejo.



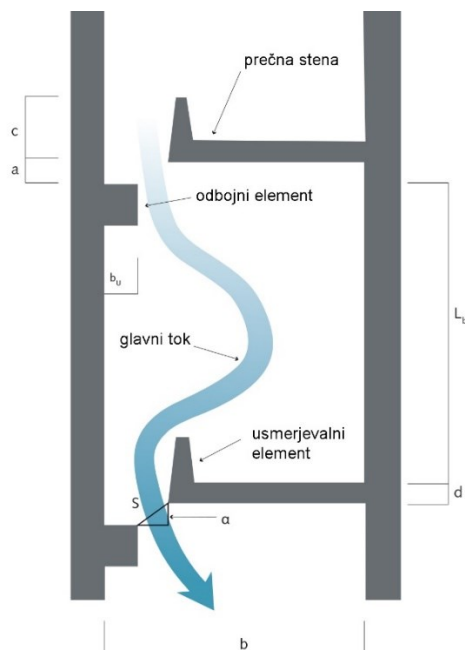
Slika 22: Prikaz poteka glavnega toka (levo) in razporeditve hitrosti v bazenih (desno) bazenskega tipa ribjega prehoda z vertikalnimi režami (BMLFUW, 2012)

2.7.2 Tlorisni potek

Tako kot klasični bazenski tip tudi prehod z vertikalnimi režami običajno poteka v eni linearni liniji med zgornjo in spodnjo vodo, mogoče pa so tudi druge izvedbe, ki so prikazane na sliki 16. Kako določiti lokacijo ribjega prehoda, njenega vhoda in izhoda, ter katere dejavnike moramo pri tem upoštevati pa smo prikazali v poglavju 2.5.

2.7.3 Dimenzije elementov ribjega prehoda

Oblika prečnih sten in rež mora biti takšna, da se v bazenu ne pojavi tok z visokimi hitrostmi, ki bi v linearni liniji tekli od reže do reže, vendar je zaželeno, da hitrejši glavni tok poteka v obliki črke »S«, kot je to prikazano na sliki 22 in sliki 23. Tako v bazenu pride do učinkovite disipacije energije ob majhni turbulenci (FAO/DWVK, 2002).



Slika 23: Shematski prikaz elementov ribjega prehoda z vertikalnimi režami (prirejeno po Seifert, 2012)

Pomemben parameter je širina vertikalne reže (s), ki določa minimalni prečni prerez skozi katerega teče voda in z njim pretok in hitrost vodnega toka (Schmutz in Mielach, 2013). Po BMLFUW (2012) je širina vertikalne reže (s) odvisna od velikosti merodajne največje ribje vrste za katero načrtujemo prehod. Minimalna širina reže (s) je tako odvisna od širine te ribe (W_{riba}) in se izračuna po enačbi:

$$s = 3 \times W_{riba} \quad (2)$$

Po Larinier (2002), Katopodis (1992) in DWA (2014) se nato dimenzije elementov bazenskega tipa z vertikalnimi režami izračunajo po enačbah prikazanih v spodnji preglednici:

Preglednica 16: Enačbe za izračun dimenzij elementov bazenskega tipa ribjega prehoda z vertikalnimi režami (elementi na sliki 23)

		enačba	faktor x
širina vertikalne reže	s	$s = x \cdot s$	1
dolžina bazena	L_b	$L_b = x \cdot s$	8,1 – 8,33
dolžina usmerjevalnega elementa	c	$c = x \cdot s$	1,78 – 2,00
dolžina odprtine	a	$a = x \cdot s$	0,41 – 0,83
širina odbojnega elementa	b_u	$b_u = x \cdot s$	1,15 – 1,49

DVWK (2002) podaja točne vrednosti minimalnih dimenzij elementov ribjega prehoda z eno vertikalno režo, ki so podane glede na merodajno ribjo vrsto. Z fizičnimi in matematičnimi modeli je bilo dokazano, da željenega pretočnega režima in ustreznega delovanja ribjega prehoda ni mogoče doseči brez upoštevanja priporočljivih minimalnih vrednosti podanih v tej preglednici.

Preglednica 17: Minimalne dimenzije elementov ribjega prehoda z eno vertikalno režo (dimenzije so podane v metrih) (DVWK, 2002)

		lipan, ploščič, klen, drugi		jester
		potočna postrv	sulec, losos	
širina vertikalne reže	s	0,15 – 0,17	0,30	0,60
širina bazena	b	1,20	1,80	3,00
dolžina bazena	L _b	1,90	2,75 – 3,00	5,00
dolžina usmerjevalnega elementa	c	0,16	0,18	0,40
dolžina odprtine	a	0,06 , 0,10	0,14	0,30
širina odbojnega elementa	b _u	0,16	0,40	0,84
razlika med gladinama sosednjih bazenov	Δh	0,20	0,20	0,20
minimalna globina vode v bazenu	h _{min}	0,50	0,75	1,30
potrebni pretok*	Q [m ³ /s]	0,14 – 0,16	0,41	1,40

*izračunan za Δh= 0,2 m in h_{min}

Prefabricirani betonski elementi ali leseni elementi predstavljajo primeren gradbeni material za izvedbo prečnih sten. Pri lesenih elementih je običajno za njihovo namestitev v betonsko dno in ob stene potrebno vgraditi še jeklene nosilce. Prečne stene med bazeni morajo biti visoke toliko, da jih srednji pretok v ribjem prehodu ne preplavi (DVWK, 2002).

2.7.4 Hidravlični izračun

Mejne in priporočljive vrednosti hidravličnih veličin, ki jih moramo upoštevati pri načrtovanju ribjega prehoda, so podane v poglavju 2.5.5.1.

Da bi ribji prehod ustrezno deloval pri različnih pretokih in gladinskih stanjih (različne gladine zgornje in/ali spodnje vode), je potrebno pri vseh pretočnih režimih preveriti:

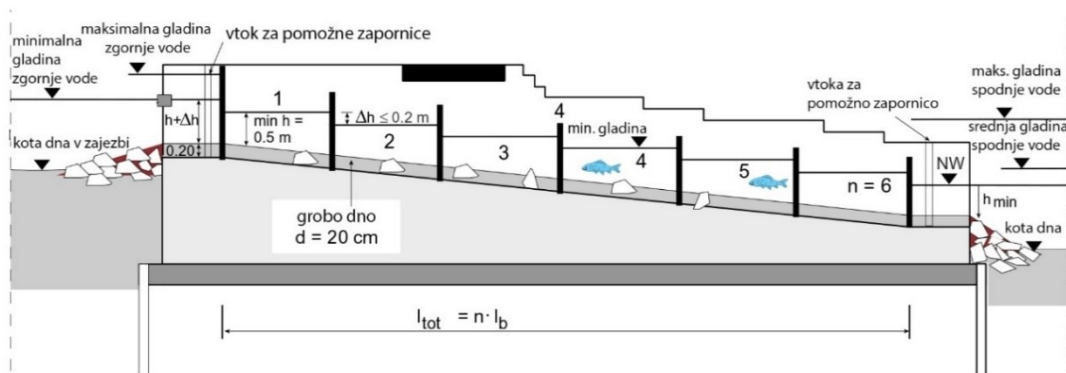
- različne globine vode,
- hitrosti pretoka med režami,
- pretoke in
- vrednosti disipacije energije v bazenih.

Vodna gladina pod prečno steno (merjeno od povprečne višine grobega dna navzgor) mora biti dovolj visoka, da ne pride do izpiranja v reži. Ob Δh = 0,2 m je minimalna višina vode pod prečno steno h_{min}=h_u = 0,5 m (v vodotokih, kjer pri zasnovi ribjega prehoda upoštevamo večje ribje vrste, te pogojujejo višje vrednosti h_{min}). Upoštevanje naslednjih pogojev je pomembno pri zagotavljanju h_{min} v vseh fazah obratovanja (DVWK, 2002):

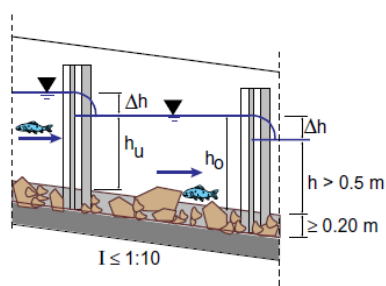
- Najnižja gladina zgornje je odločujoč faktor pri določanju višine dna na vtočnem objektu ribjega prehoda (izhodu iz ribjega prehoda). Zgornja površina grobega dna pred prvim bazenom je na koti, ki jo določa najnižja zgornja gladina od katere odštejemo h₀.

$$h_0 = h_{min} + \Delta h \quad (3)$$

- Pomembna je določitev najnižje gladine spodnje vode (NW). Kota površja grobega dna v najnižjem bazenu (na vhodu v ribji prehod – iztočnem objektu) mora biti enaka NW – h_{min}.



Slika 24: Shematski vzdolžni prerez bazenskega tipa z vertikalnimi režami



Slika 25: Detajlni vzdolžni prerez bazenskega tipa z vertikalnimi režami

Ob teh gladinah zgornje in spodnje vode je globina vode enaka v vseh bazenih, prav tako je po celotnem prehodu enaka razlika med gladinami sosednji bazenov (Δh). Število bazenov (n) se tako izračuna po naslednji enačbi:

$$n = \frac{h_{tot}}{\Delta h} - 1 \quad (4)$$

h_{tot} - maksimalna višinska razlika med gladino zgornje in spodnje vode

kjer upoštevamo vrednost $\Delta h \leq 0,2$ m. Maksimalno hitrost toka skozi reže izračunamo po naslednji enačbi:

$$v_{max} = \sqrt{2g\Delta h} \quad (5)$$



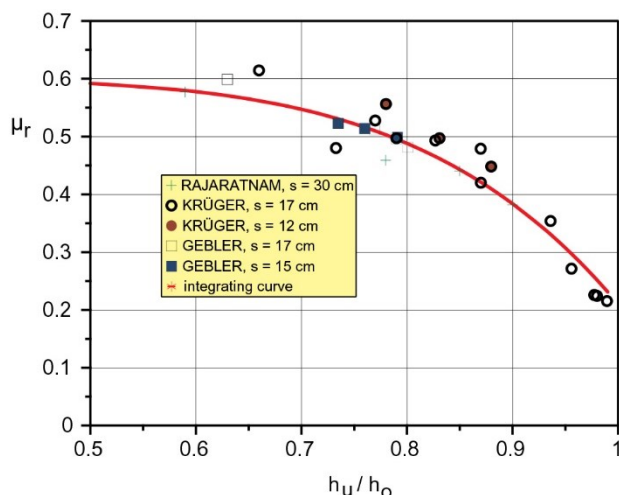
Slika 26: Maksimalne hitrosti toka v ribjem prehodu se pojavijo pri toku vode skozi vertikalne reže (Seifert, 2012)

Pretok v ribjem prehodu je definiran na podlagi hidravličnih lastnosti v reži in ga lahko ocenimo s pomočjo enačbe (4):

$$Q = \frac{2}{3} \mu_r s \sqrt{2g} h_0^{3/2} \quad (6)$$

kjer je: $\mu_r = f(h_u/h_0)$, kot je to prikazano na sliki 27.

Vrednosti pretočnega koeficienta μ_r so določene na podlagi laboratorijskih testov in terenskih raziskav različnih avtorjev. Tako je na sliki 27 podana krivulja s katero določimo natančnejšo vrednost μ_r (pri vrednostih $s = 0,12$ do $0,3$ m, $h_u = 0,35$ do $3,0$ m, $\Delta h = 0,01$ do $0,30$ m) (DVWK, 2002).



Slika 27: Krivulja za določitev pretočnega koeficienta μ_r (DVWK, 2002)

Hidravlični izračun je kompleksnejši v primeru velikih nihanj gladine zgornje ali spodnje vode. Ob prečnih stenah v ribjem prehodu se tako pojavljajo različne globine vode, kar vodi v različne gladine in hitrosti. Hidravlični izračun mora zato potekati po naslednjem postopku:

Najprej izračunamo pretok skozi ribji prehod z oceno razlike med gladinama sosednjih bazenov (Δh) na najbolj gorvodni (prvi) prečni steni. Z izračunanim pretokom lahko določimo h_0 s posameznimi koraki za vsako prečno steno, začeni z zadnjo, najbolj dolvodno. Izračun lahko opravimo tudi z iteracijo, ker je μ_r funkcija h_u/h_0 . Če je bil ocenjen pretok pravilen, izračunana globina h_0 skupaj z koto grobega dna predstavlja gladino vode, ki mora biti enaka gladini vode v zajezi. Če temu ni tako, mora biti izračun ponovljen z drugim ocenjenim pretokom.

Z ustreznim načrtovanjem ribjega prehoda moramo zagotoviti, da v ribjem prehodu ne pride do vpliva turbulence, ki negativno vpliva na ribje plavalne sposobnosti in lahko povzroča izčrpanost ali celo poškodbe rib. Turbulenca je izražena kot redukcija moči glede na prostornino bazena (energijska disipacija). Pri izračunu moramo upoštevati, da vrednosti disipacije energije v bazenih ne presežejo 150 do 200 W/m^3 (natančnejše vrednosti so podane v poglavju 2.5.5). Energijsko disipacijo v vsakem bazenu (E) se izračuna po enačbi:

$$E = \frac{\rho g Q \Delta h}{V} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^3} \right] \quad (7)$$

ρ - gostota vode = $1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

g - gravitacijski pospešek $[\text{m/s}^2]$

Q - pretok $[\text{m}^3/\text{s}]$

Δh - višinska razlika med gladinama vode v sosednjih bazenih

V - prostornina bazena (= dolžina bazena * širina (b) * srednja globina (h_m))

2.8 VZDRŽEVANJE RIBJEGA PREHODA

Potreba po vzdrževanju ribjega prehoda mora biti upoštevana že v fazi načrtovanja ribjega prehoda. Pogostost in obsežnost vzdrževanja je odvisna že od tipa ribjega prehoda, ki ga načrtujemo. Sonaravne tipe ribjih prehodov (obtočni kanal, hrapava drča) praviloma potrebujejo manj vzdrževanja, saj za razliko od tehničnih tipov, pri njih težje pride do zamašitev, ki bi popolnoma ohromile delovanje ribjega prehoda. Pogostost vzdrževanja je odvisna tudi od lokalnih značilnosti vodotoka (velika prodonosnost, veliko plavja) in lokacije postavitve izhoda iz ribjega prehoda. Izvedba vzdrževalnih del je zlasti pomembna po visokih vodah. Za potrebe vzdrževanja in izvajanja monitoringa je potrebno je urediti dostop do ribjega prehoda (DVWK, 2002).

2.9 MONITORING DELOVANJA RIBJIH PREHODOV

Četudi pri načrtovanju ribjega prehoda upoštevamo vsa priporočila in da je bilo dimenzioniranje prehoda opravljeno z detajlnimi izračuni, je potrebno po izgradnji ribjega prehoda njegovo učinkovitost in delovanje preveriti z monitoringom.

Vsak odsek oziroma objekt na katerem načrtujemo ribji prehod ima svoje lokalne značilnosti, zato noben izmed zgrajenih ribjih prehodov ni identičen drugemu in tako rezultate učinkovitosti prehoda ne moremo prenašati iz enega na drugega. Za preizkušene in dobro poznane zasnove ribjih prehodov je seveda mogoče v naprej lažje predvidevati njegovo učinkovitost, vseeno je za potrditev potrebna izvedba ustreznega monitoringa. Monitoring delovanja ribjega prehoda je še toliko bolj pomembnejši pri izgradnji ribjih prehodov, katerih zasnova je novejša, oziroma so njihove dimenzije in posamezni elementi drugačni od klasičnih (DVWK, 2002).

V splošnem je mogoče učinkovitost ribjega prehoda vrednotiti z dvema pristopoma (Schmutz in Mielach, 2013):

- **Vrednotenje na podlagi posrednih parametrov (abiotsko)**

Ta metoda vrednotenja temelji na primerjavi izmerjenih parametrov (npr. zaznavnost, atrakcija, naklon, hidravlični parametri (npr. hitrost, pretok) in morfometrične dimenzije) in priporočljivih ali mejnih vrednosti iz smernic. Takšno vrednotenje je hitro, a nekaterih parametrov ni mogoče enostavno izmeriti, oziroma so lahko primerjalne vrednosti iz smernic pomanjkljive. S to metodo, ki upošteva posredne abiotske parametre, sicer lahko pridobimo neko okvirno oceno delovanja ribjega prehoda, ali vse ribje vrste uspešno prehajajo ribji prehod, pa je mogoče oceniti šele na podlagi ihtioloških meritev.

- **Vrednotenje, ki temelji na ihtioloških-ekoloških meritvah**

Med meritve, ki zajemajo takšno vrednotenje, štejemo: ribje pasti, blokirna metoda, označevanje, elektro izlov in avtomatsko merjenje. Izbira ene ali večjih metod meritev je odvisna od značilnosti tipa ribjega prehoda in obravnavanega območja. Meritve je potrebno izvesti tako, da nam podajo merodajni rezultat koliko rib ribji prehod dejansko prehaja v celoti in ne da merimo prisotnost rib zgolj na eni točki ribjega prehoda.

Avtomatske meritve (npr. videokamere) so lahko uporabne zgolj, če je v vodi dobra vidljivost. Omogočati morajo tudi prepoznavanje različnih ribjih vrst in njihovih starosti. Učinkovito

vrednotenje, ki bi dalo dobre rezultate lahko poteka daljše časovno obdobje, kar lahko pomeni, da je metoda hitro predraga, zlasti za manjše objekte (Schmutz in Mielach, 2013).

Z označevalnimi meritvami lahko dobimo dober vpogled v migracijsko obnašanje rib. Za vrednotenje učinkovitosti ribjega prehoda so se vseeno te meritve izkazale za izredno drage, saj je za dobre rezultate potrebno veliko število rib (Schmutz in Mielach, 2013).

Izvajanje meritev z ribjimi pastmi omogoča kvalitativno in kvantitativno ovrednotenje učinkovitosti ribjega prehoda za prehajanje rib. Meritve izboljša poznavanje podatka o količini rib v ribji populaciji na odseku (gorvodno in dolvodno). Ribje pasti je smiselno uporabiti tam, kjer lahko z njimi pokrijemo celotni prečni profil prehoda in kjer je mogoča dobra povezava z dnom. Umestimo jih na ali tik za izhodom iz ribjega prehoda. Najbolj pogosta je uporaba ribjih pasti v obliki škatle, zlasti pri bazenskih tipih ribjih prehodov, kjer dimenzije določa velikost prekatov (bazenov). Pri takšnem tipu morajo biti pasti postavljane v najbolj gorvodni bazen. Priporočljivo je, da se vgradnja ribjih pasti upošteva že v fazi načrtovanja in gradnje ribjega prehoda, saj tako lahko v prehod namestimo elemente (posebne utore, kovinske lege,...), ki kasneje omogočajo njihovo lažjo namestitvev (Schmutz in Mielach, 2013; DVWK, 2002).

Medtem ko so poznane številne metode za merjenje gorvodne prehodnosti rib, je v splošnem še vedno zelo težko neposredno meriti prehajanje vodnih nevretenčarjev. V praksi se je uveljavilo pravilo, da v kolikor je v ribjem prehodu zagotovljena vzdolžna neprekinjena povezanost substrata na dnu (kot tudi na izhodu in vhodu v ribji prehod) je načeloma s tem zagotovljena tudi ustrezna prehodnost za vodne nevretenčarje (DVWK, 2002).

Zaželeno je, da bi se monitoring izvajal skozi eno celotno leto ali dlje. V kolikor to ni mogoče je monitoring potrebno izvajati vsaj pred in med drstitvenimi obdobji pomembnejših ribjih vrst. V monitoringu naj bi se praviloma zajel čim širši spekter rib, glede na njihovo starost in velikost ter ob različnih pretokih v vodotoku in ribjem prehodu. V primeru nove izgradnje prečnega objekta in ribjega prehoda je priporočljivo, da se monitoring izvaja eno leto po izgradnji, saj naj bi po tem času ekosistem kompenziral večino nastalih negativnih posledic med gradnjo (Schmutz in Mielach, 2013).

2.10 ZAGOTAVLJANJE DOLVODNIH MIGRACIJ VODNIH ORGANIZMOV PREKO HIDROENERGETSKIH OBJEKTOV

Kot smo zapisali v poglavju 2.1.3 dolvodne migracije potekajo predvsem z namenom razširjanja vrste in genskega drifta ter ob vračanju iz drstišč po reprodukciji (Schmutz in Mielach, 2013). Ukrepi za izboljšanje dolvodne prehodnosti so mnogo manj razviti in preučevani od ukrepov za zagotavljanje gorvodne prehodnosti, ker se je problematika vzdolžne povezanosti vodotokov vsaj na začetku osredotočila bolj na gorvodno prehodnost. V sedanjem času pa postaja vedno bolj aktualno tudi reševanje problematike dolvodne migracije preko neprehodnih prečnih objektov (Larinier in Travade, 2002).

Dolvodna migracija rib poteka ali tik ob gladini (npr. mladice salmonidov), tik ob dnu (jegulja, mrena, kapelj, podust) ali pa znotraj celotnega vodnega stolpca. Tako morajo objekti za dolvodno prehajanje rib omogočati prehod ribam po celotnem vodnem stolpcu. Ribji prehodi za gorvodno prehajanje rib običajno ne omogočajo prehajanja rib tudi dolvodno, ker so

vedenjske lastnosti rib ob dolvodni migraciji rib drugačne. Pri dolvodni migraciji ribe največkrat zaidejo v območje dovodnega kanala (vtoka) pred turbinami HE, izhod iz ribjega prehoda za gorvodno migracijo pa je praviloma ravno zaradi tega razloga (da ne bi ribe po izhodu iz prehoda odneslo v vtok turbin) lociran na mestu, ki je zadosti oddaljeno od vtoka, oziroma kar na nasprotni brežini (Schmutz in Mielach, 2013).

Eden od glavnih izzivov pri zagotavljanju dolvodne migracije je preprečiti ribam, da bi zaplavale v območje turbin in ukrepom zagotoviti, da jih tok vodi po alternativni poti dolvodno. Ukrepi za zaščito vtokov v turbine bi tako morali biti vključeni pri vseh obstoječih in načrtovanih hidroenergetskih objektih (Schmutz in Mielach, 2013).

2.10.1 Zaščita vtokov v turbine

Poznamo različne načine za zagotavljanje zaščite rib pred vtokom v turbine. Praviloma jih potem združujemo z ukrepi za doseganje uspešne dolvodne migracije.

2.10.1.1 Posebna zasnova turbin

Odvisno od tipa turbine, vodnega pritiska in drugih lastnosti delovanja HE je v kolikšni meri turbine lahko poškodujejo ribe. V svetu že obstajajo različni (prototipi) turbin, ki naj bi s svojo zasnovo omogočale varno prehajanje rib, predvsem gre tu za turbine, ki delujejo z manjšimi obrati in pri manjših gladinah zgornje vode, v večini primerov gre tudi za posebno obliko lopatic. Raziskave učinkovitosti takšnih turbin pa so še v zgodnjih fazah (Schmutz in Mielach, 2013).

2.10.1.2 Vedenjski ukrepi

Med vedenjske ukrepe štejemo naprave in objekte, ki s povzročanjem dražljajev odvrčajo ribe pred vhodom v turbine. To so: električne rešetke, naprave za proizvodnjo zračnih mehurčkov, zvočne naprave in odbojni elementi na gladini (odvrčajo le ribe na gladini). Uporaba teh ukrepov je slabo raziskana in se v splošnem v praksi, vsaj v Evropi, ne uporablja (Schmutz in Mielach, 2013).

2.10.1.3 Fizične ovire – rešetke

Rešetke delujejo kot fizična ovira, ki preprečuje prehajanje rib. Za zagotavljanje učinkovite zaščite, morajo biti okenca v rešetkah ustrezno majhna. Dimenzije okenc na rešetkah določajo najmanjše ribje vrste in njihove predstavnice za katere načrtujemo zaščito. V splošnem naj dimenzije okenc ne bi presegale 20 mm. Hitrost toka vode, ki teče skozi rešetke, pa naj ne bi smel presegati od 0,25 do 0,5 m/s. Fizične ovire lahko povzročajo hidravlične izgube in posledično zmanjšanje proizvedene energije. Kaj hitro pa lahko pride tudi do zamažitve rešetk z plavjem (DVWK, 2002).

2.10.2 Poti za dolvodno migracijo

2.10.2.1 Dolvodna migracija preko ribjih prehodov za gorvodno migracijo

Kot smo že zapisali, ribji prehodi za gorvodno migracijo običajno ne omogočajo tudi učinkovite dolvodne migracije rib. Vseeno je mogoče, da v specifičnih primerih nekatere ribe ribji prehod uporabljajo tudi za dolvodno migracijo, to je mogoče oceniti z ustreznim monitoringom ribjega

prehoda. Možne so tudi zasnove, kjer ob ustrezno zaščitenem vtoku v turbine (npr. z rešetkami) umestimo objekt (»bypass«), ki vodi od rešetke do obstoječega gorvodnega prehoda, po katerem lahko potem ribe migrirajo naprej dolvodno (Schmutz in Mielach, 2013).

2.10.2.2 Dolvodna migracija preko prelivnih polj

Ribe lahko hidroenergetske objekte uspešno dolvodno prehajajo tudi preko odprtih prelivnih polj. Pretok čez prelivno polje lahko služi kot dolvodna migracijska pot v primeru, ko je globina vode čez prelivno polje visoka vsaj eno četrtno višine morebitnega padca vode čez prelivno polje in najmanj 0,9 m (DWA. 2005). Z ustrezno globino vode v podslapju naj bi ribe lahko varno dolvodno prehajale tudi v primeru prostega pada do višine 2,5 m (Schmutz in Mielach, 2013).

2.10.2.3 Posebni objekti za dolvodno migracijo

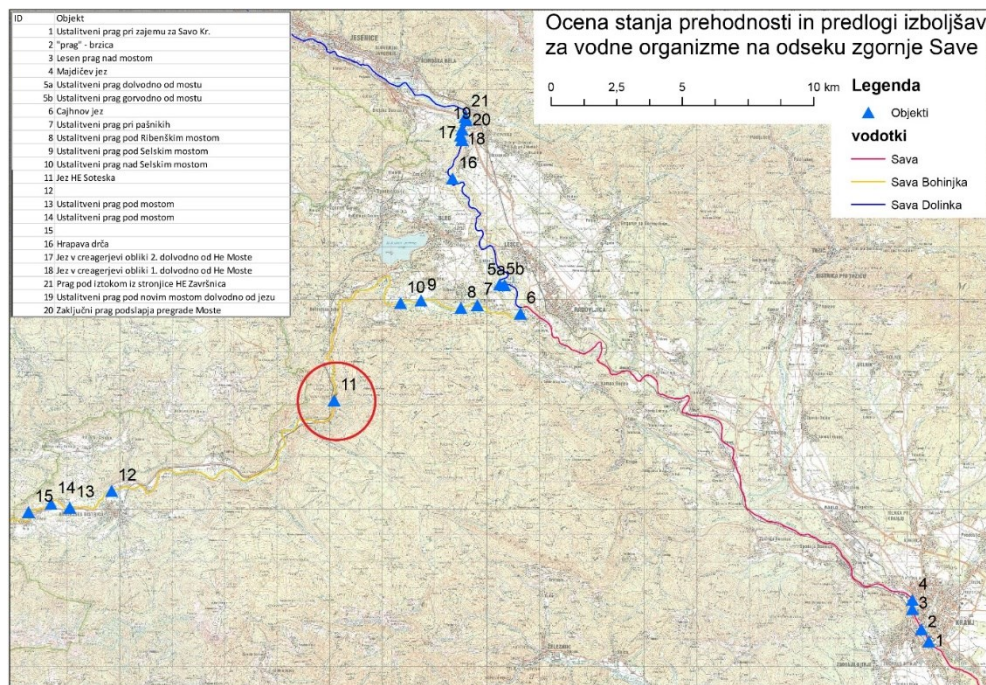
Gre za podoben ukrep kot v primeru dolvodne migracije preko ribjih prehodov za gorvodno migracijo, le da tu ne gre za povezavo do ribjega prehoda, ampak je odvod za dolvodno migracijo zgrajen kot popolnoma ločen objekt, povezan s spodnjo vodo pod hidroenergetskih objektov (Schmutz in Mielach, 2013).

3 IDEJNA ZASNOVA UREDITVE PREHODNOSTI NA SAVI BOHINJKI PRI JEZU HE SOTESKA

3.1 VPLIV IZBOLJŠANJA PREHODNOSTI NA JEZU HE SOTESKA NA VZDOLŽNO POVEZANOST ZGORNJE SAVE

V Sloveniji je zgrajenih 25 velikih hidroenergetskih pregrad (Kryžanowski, 2017) in okoli 425 malih hidroelektrarn (mHE) (Kolman is sod., 2010). Na večini (zlasti na mHE) ni zagotovljene prehodnosti za vodne organizme. Kako se torej odločiti kateri objekti so prednostni za vzpostavitev prehodnosti in na katerih bi le ta imela največji pozitivni vpliv na vzdolžno povezanost vodotokov?

V ta namen je smiselna izdelava študij vzdolžne povezanosti vodotokov s katerimi se naredi popis prečnih neprehodnih objektov na obravnavanem vodotoku, izvede oceno stanja prehodnosti in poda prednostne predloge za izboljšave. Leta 2015 smo v okviru študentskega projekta izdelali oceno stanja prehodnosti vodnih organizmov na zgornji Savi s katero so bili podani tudi predlogi za izboljšave in prednostni objekti (Blatnik in sod., 2015). Prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov za ribe je bilo v študiji izvedeno s pomočjo kanadske metode opisane v poglavju 2.1.4. Na spodnji sliki je prikazana karta z vsemi popisanimi neprehodnimi prečnimi objekti na odseku zgornje Save, na celotnem odseku je bilo popisanih 22 objektov. Med temi se 10 objektov nahaja na Savi Bohinjki, katero na sliki predstavlja rumena linija. Številka 11 pa predstavlja lokacijo jezu HE Soteska.



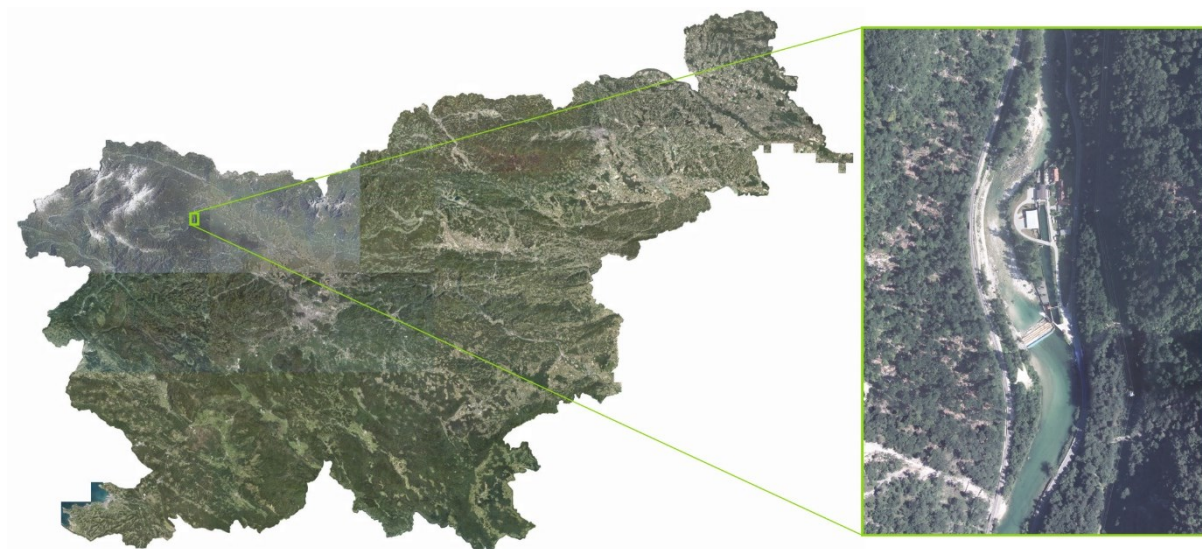
Slika 28: Neprehodni prečni objekti na odseku zgornje Save, številka 11 predstavlja jez HE Soteska in številka 6 Cajhnov jez (Blatnik in sod., 2015)

Rezultati študije kažejo, da je obravnavano območje zgornje Save zelo obremenjeno s pregradami, ki pomembno vplivajo na vzdolžno selitev vodnih organizmov. Izračunana nizka vrednost indeksa DCI_p (32,35) kaže na številna neprehodna območja. Z izračuni teoretičnih indeksov DCI_p za različne primere izboljšav prehodnosti na posameznih objektih je bilo

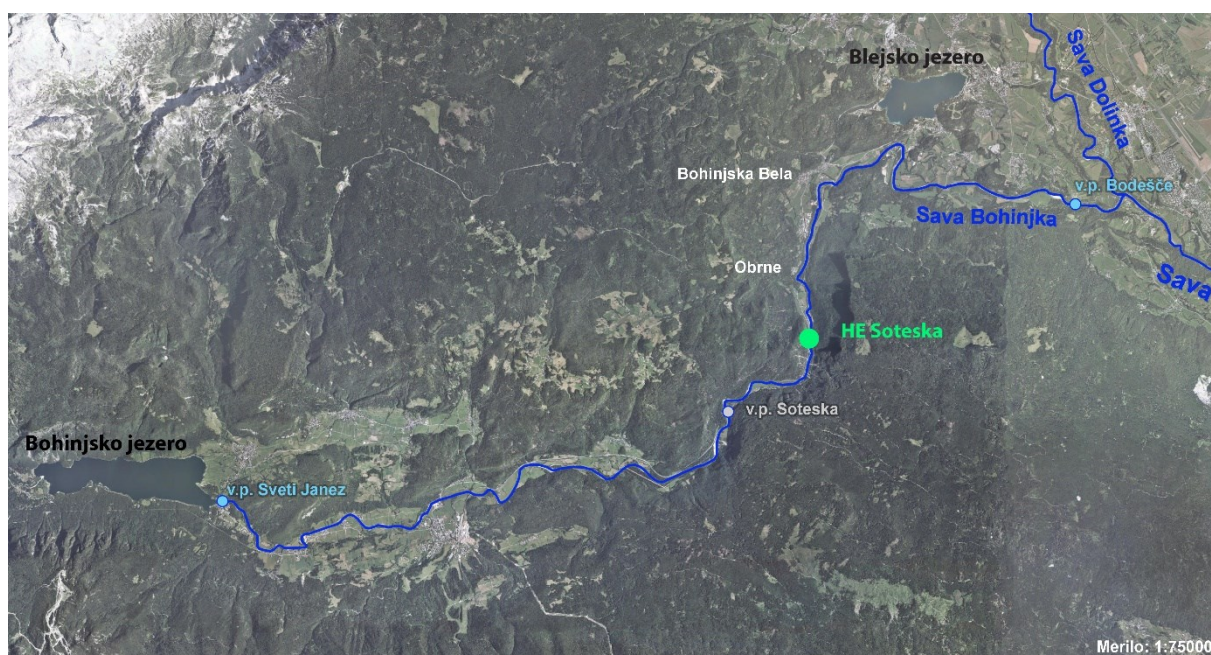
ugotovljeno, da bi imela na izboljšanje vzdolžne povezanosti na odseku največji pozitivni vpliv vzpostavitev prehodnosti na jezu HE Soteska in na Cajhnovem jezu. Ob upoštevanju vzpostavljene 100 % prehodnosti na teh dveh objektih bi bil indeks DCI_p večji za 10,75 (in bi tako znašal 43,10). Ti rezultati nam torej kažejo, da bi ustrezen ukrep za izboljšanje prehodnosti (na primer izgradnja ribjega prehoda) na jezu HE Soteska bistveno izboljšal vzdolžno povezanost zgornje Save.

3.2 PRIDOBITEV LOKACIJSKIH INFORMACIJ

Jez HE Soteska se nahaja na vodotoku Sava Bohinjka, natančneje okoli 2 km južno od naselja Obrne pri Bohinjski Beli (sliki 29 in 30).



Slika 29: Lokacija HE Soteska na karti Slovenije



Slika 30: Sava Bohinjka s prispevnim območjem in označenimi vodomernimi postajami (Prirejeno po Atlas okolja, Pridobljeno 11. 3. 2017.)

3.2.1 Hidrološke značilnosti porečja Save Bohinjke

Sava Bohinjka »izvira« kot izliv iz Bohinjskega jezera. Po približno 100 metrih se v reko izliva levi pritok Mostnica. Nekateri, del vodotoka, ki izteka iz jezera in teče do pritoka Mostnice, imenujejo tudi Jezernica. Ime Sava Bohinjka pa naj bi vodotok dobil šele na tej točki. Po pritoku Mostnice reka približno 200 m teče po kratki soteski, nato pa po Spodnji Bohinjski dolini teče ves čas po prodnih naplavinah manjših hudourniških pritokov. Kot desna pritoka se blizu naselja Bohinjske Bistrice vanjo izlivata Bistrica in Belca, ki sta izrazito hudourniškega značaja. Pri naselju Nomenj začne Sava Bohinjka teči po ozki okoli 10 km dolgi soteski ledeniškega nastanka, katero obdajajo strma pobočja Jelovice na vzhodni in Pokljuke na zahodni strani. V soteski se v Bohinjko izlivajo krajši a izraziti hudourniki, ki s seboj nosijo velike količine plavin in plavja. Pri naselju Bohinjska Bela se dolina razširi, tok vode se umiri in reka začne meandrirati. Do sotočja s Savo Dolinko se v reko izlivata še dva nekoliko večja pritoka Belica (ob Bohinjski Beli) in Jezernica (iz Blejskega jezera). V bližini Radovljice se Sava Bohinjka po približno 33 km združi s Savo Dolinko, od tu naprej združeni tečeta pod imenom Sava. Prispevna površina Save Bohinjke znaša 387,24 km² (Atlas okolja, Pridobljeno 10. 3. 2017.; Trobec, 2010).

Na Savi Bohinjski trenutno delujeta dve vodomerni postaji (VP): VP Sveti Janez tik ob iztoku iz Bohinjskega jezera in VP Bodešče pri naselju Ribno, pred Cajhnovim jezem (slika 30). Dve VP postaji sta locirani na pritokih Save Bohinjke: VP Bohinjska Bistrica na Bistrici in VP Mlino I na Jezernici (iztok iz Blejskega jezera). V preteklosti je daljše časovno obdobje delovala tudi VP postaja Soteska, ki se je nahajala približno 3 kilometre gorvodno nad jezem HE Soteska (slika 30).

Preglednica 18: Seznam vodomernih postaj na Savi Bohinjski; aktivnost 1 - delujoče, 0 – ukinjene (ARSO, 2017)

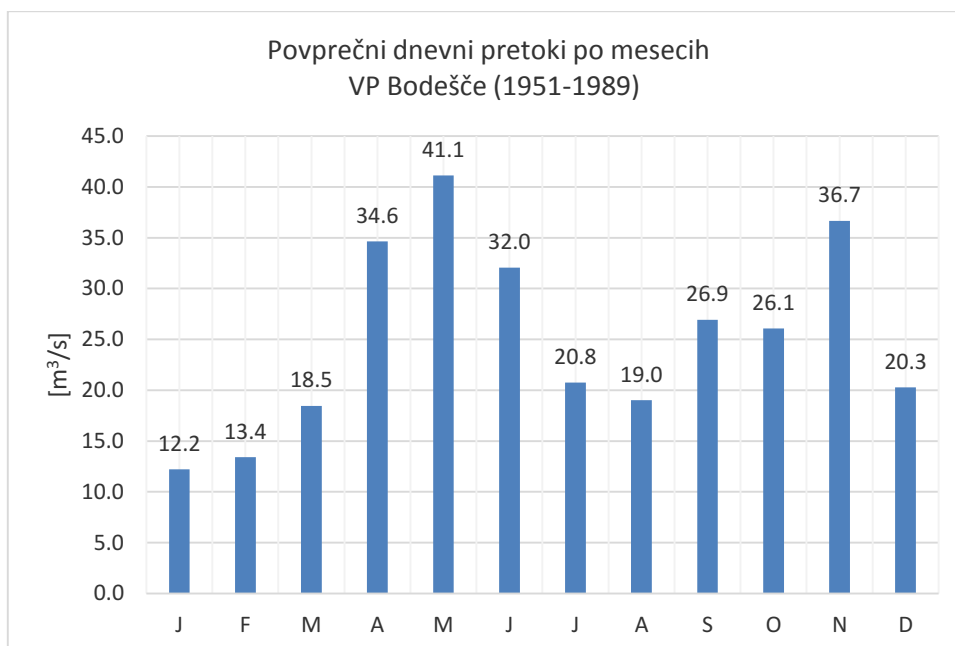
ŠIFRA	POSTAJA	VODOTOK	STACIONAŽA	ZALEDJE (km ²)	GKY	GKX	KOTA "0"	ZAČETEK	KONEC	Aktivnost
3200	Sveti Janez	Sava Bohinjka	32.8	93.99	414565	126620	524.948	1951		1
3220	Soteska	Sava Bohinjka	16.9	288.19	426230	128680	478.241	1926	1989	0
3250	Bodešče	Sava Bohinjka	1.42	363.91	434315	133450	413.897	1951		1

3.2.1.1 Pretočni režim

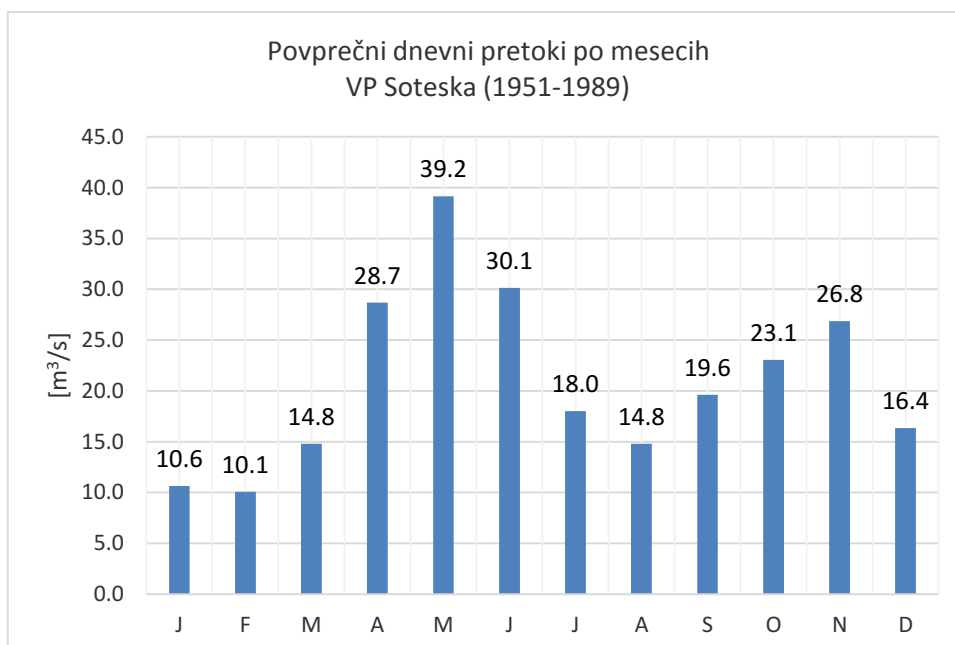
Rečni pretočni režim je ena glavnih karakteristik obnašanja vodotoka. Opisuje povprečno sezonsko obnašanje pretoka reke. Pretoki reke se spreminjajo v odvisnosti od količine vode, padavin, temperature tal in drugih klimatskih dejavnikov. Na njih vplivajo tudi drugi fizično-geografski dejavniki, zlasti relief, rastlinstvo ter nenazadnje tudi človek. Pretočni režim je torej rezultat geografskih značilnosti porečja in podnebne dinamike (Frantar, 2003).

Frantar (2003) v svojem članku navaja raziskave pretočnih režimov reke Save in glede na njihove rezultate ocenjuje, da ima Sava Bohinjka snežno-dežni režim. To lahko potrdimo tudi s spodnjim grafikonom, ki prikazuje srednje mesečne pretoke na VP Bodešče v obdobju 1951-1989. Kot je za snežno-dežni režim značilno, sta izrazita dva maksimuma, pri katerem je spomladanski izrazitejši od jesenskega. Ker je spomladanski višek posledica taljenja snega v visokogorju, v splošnem velja pravilo, da se izrazitost pomladnega viška povečuje gorvodno (Frantar, 2003). To potrjuje izdelana statistična analiza srednjih mesečnih pretokov na VP

Bodešče in VP Soteska prikazana na spodnjih grafikoni, kjer je spomladanski maksimum malenkost izrazitejši pri VP Soteska, ki se nahaja približno 15 km gorvodno od postaje Bodešče.



Grafikon 2: Srednji dnevni pretoki po mesecih na VP Bodešče v obdobju 1951-2014 (povzeto po ARSO, 2017)



Grafikon 3: Srednji mesečni pretoki na VP Soteska v obdobju 1926-1989 (povzeto po ARSO, 2017)

3.2.2 Jez HE Soteska

Glavni vir informacij o jezu in delovanju HE Soteska je bila arhivska baza Vodnogospodarskega podjetja d.d. Kranj (VGP Kranj), ki je državni koncesionar za urejanje vseh nižinskih vodotokov, hudournikov in stoječih voda na območju zgornje Save. S prošnjo za posredovanje podatkov o HE Soteska in njenem obratovanju smo stopili v kontakt tudi s

trenutnim upravljalcem objekta, podjetjem Gorenjske elektrarne, proizvodnje elektrike, d.o.o., vendar v času izdelave magistrskega dela od njih nismo prejeli pozitivnega odgovora.

Jez hidroelektrarne Soteska se nahaja 13,5 km gorvodno od sotočja Save Bohinjke in Save Dolinke. Jez v Soteski so zgradili že pred letom 1967. Prvotno je bil zgrajen kaštni jez za stabilizacijo nivelete dna struge. Prva obnovitev kaštnega jezua je bila izvedena leta 1970, kjer so za izboljšanje stabilizacije jezua po poplavih 1969 izvedli betoniranje gorvodne strani jezua. Leta 1979 je bila ob jezu zgrajena še danes delujoča pretočna HE Soteska. Dovod vode za obratovanje HE je zagotavljal odzemni objekt - kaštni jez s fiksno prelivno krono. Za potrebe vzpostavitve regulacije obratovanja HE pa je bil leta 1998 rekonstruiran obstoječi odzemni objekt, na katerem je bil po obnovi dodan vrečasti jez, s katerim je dosežena večja zaježitvena višina ob normalnem obratovanju in s katerim je ob višjih pretokih z izpraznjenjem vreče možno povečati pretočno sposobnost v profilu jezua (Blažeka, 1994). Tehnični podatki HE Soteska, kot jih na svoji spletni strani navaja upravljalec, so prikazani v preglednici 19.



Slika 31: Situacija HE Soteska – tloris

Preglednica 19: Tehnični podatki HE Soteska (http://www.gek.si/voda/200400091/Tehnicni_podatki, Pridobljeno 20. 4. 2017.)

Tip HE	pretočna
Vodotok	reka Sava Bohinjka
Srednji letni pretok	21,8 m ³ /s
Instalirani pretok	23,6 m ³ /s
Bruto padec	3,7 m, 7,9 m
Turbina	1 x cevna, 1x banki
Generator	1 x trofazni sinhronski, 1x trofazni asinhronski
Instalirana moč	1620 kW
Srednja letna proizvodnja	4.200.000 kWh
Leto izgradnje., rekonstrukcije	1979, 1998

Glede na njeno instalirano moč bi bilo sicer HE Soteska ustrezneje imenovati mala hidroelektrarna (mHE), saj se je v zadnjem času kot vrednost instalirane moči, ki ločuje mHE od HE, uveljavila vrednost 10 MW (HE Soteska ima cca. 1,6 MW instalirane moči) (Pušnik in sod., 2010). Ker se je v literaturi in skozi zgodovino uveljavil izraz »HE Soteska« v tem magistrskem delu za poimenovanje objekta uporabljamo izraz »HE Soteska«.

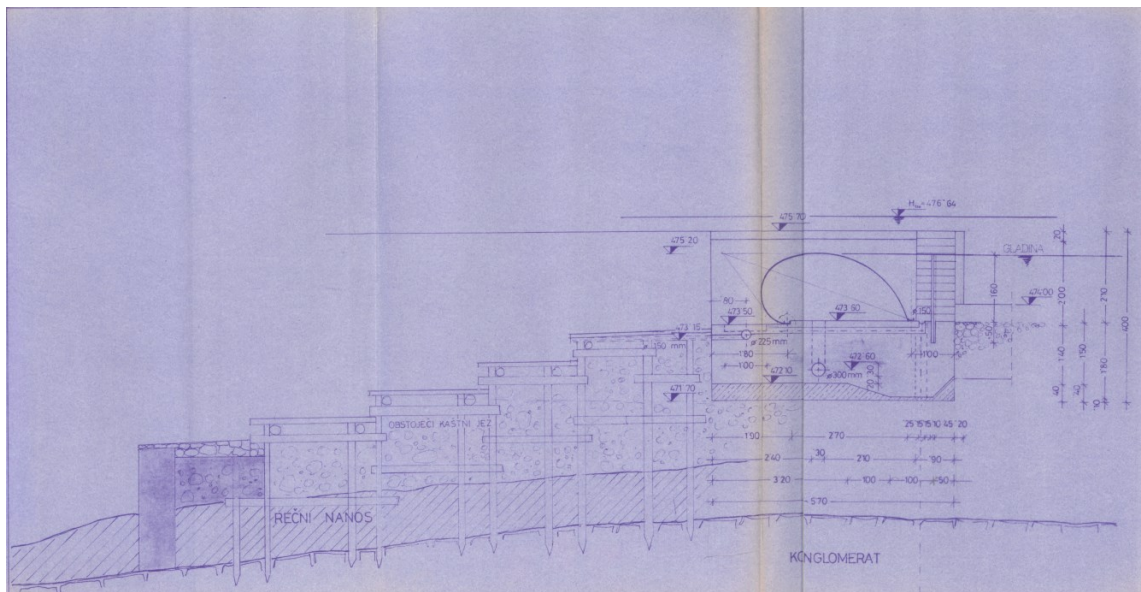
Posamezni elementi HE ter njihovo delovanje, ki bistveno vplivajo na načrtovanje in delovanje ribjega prehoda, so predstavljeni v naslednjih poglavjih. V spodnji preglednici pa podajamo tehnične karakteristike jezu, kot so navedene v projektni dokumentaciji Projekta za razpis (Blažeka, 1994) in so osnova za dimenzioniranje ribjega prehoda.

Preglednica 20: Tehnične karakteristike jezu (Blažeka, 1994)

Max višina mehkega jezu	1,6 m
Obratovalna višina jezu	1,3 m
Število prelivnih polj	1 m
Dolžina pete mehkega jezu	39,20 m
Dolžina krone mehkega jezu	44,00 m
Naklon brežine	1:1.5
Nadpritisk v mehkem jezu	1,3 H
Čas praznjenja mehkega jezu	60 min
Dimenzije cevovoda za polnjenje	300 mm
Volumen mehkega jezu	184 m ³
Obseg mehkega jezu	8,64 m
Potrebna širina za pritrditev	9,25 m
Pretok Save pri katerem se vreča izprazni	230 m ³ /s

3.2.2.1 Fiksni del jezu

Obstoječa konstrukcija kaštnega jezu se je pri rekonstrukciji leta 1998 ohranila, pri tem je bil fiksni del vrečastega jezu situativno zgrajen tako, da je njegov spodnji rob takoj za obstoječo konstrukcijo kaštnega jezu (slika 32). Fiksni del vrečastega jezu je temelj fleksibilnemu delu z vsemi njegovimi elementi. Fiksni del ima eno prelivno polje širine 44 m (Blažeka, 1994).



Slika 32: Prečni prerez zaježitvene zgradbe (levo obstoječi kaštni jez, desno dograjen vrečasti jez) (Blažeka, 1994)

3.2.2.2 Vrečasti jez - fleksibilni del

Vrečasti jez, zaježitveni element, ki je bil v obnovi leta 1998 dograjen na obstoječem fiksnem jezu, ima v osnovi dve funkciji (Blažeka, 1994):

- Pri vsakodnevnom obratovanju zaježuje reko Savo Bohinjko in preusmerja vodo v odzemni kanal HE Soteska (slika 33).
- Pri višjih pretokih kot je zmogljivost elektrarne se krona znižuje. Na ta način se pretok delno razteži v osnovno strugo reke. S tem se zmanjša nevarnost gorvodnih poplav. Natančna regulacija nivoja vode poteka z zveznim dviganjem oziroma zniževanjem krone jezu (v kratkih nastavljivih časovnih intervalih sledimo gladini vode v kanalu in z ozirom nanjo uravnavamo krono jezu ter s tem pretok v kanalu).



Slika 33: Popolnoma dvignjen vrečasti jez pri normalnem obratovanju (Avtor: terenski ogled, 26.3.2017)

Po načinu in mediju s katerim dvigujemo in spuščamo vrečasti jez v osnovi delimo vrečaste jezove na tiste, ki so napolnjeni z zrakom in na tiste, ki so napolnjeni z vodo. Vrečasti jez iz gumirane sintetične tkanine na HE Soteska je napolnjen z vodo, polnjenje in praznjenje vreče pa se izvaja preko cevi, ki je povezana z manipulativnim jaškom, ki je lociran ob opornem zidu dolvodnega kanala HE na desnem bregu. Prednosti z vodo polnjene vreče pred tisto z zrakom so naslednje: manjše vibracije ob prelivanju vode, večja možna višina vode, ki preliva vrečo. Z zrakom napolnjena vreča pa se hitreje napolni in izprazni ter potrebuje manjše temelje (Chanson, 1996). Podatki o delovanju fleksibilnega dela jezu so pomembni pri razumevanju manevriranja z vrečo, ki ima bistven vpliv na spreminjanje zgornje gladine na jezu ter posledično na načrtovanje vtočnega objekta (izhoda) iz ribjega prehoda.

3.2.2.3 Talni izpust

Talni izpust je lociran na desni strani jezu (slika 31 in 34). Namenjen je občasnemu plavljenju naplavin iz zajetja, trenutno pa skozi izpust konstantno spuščajo tudi ekološko sprejemljivi pretok.



Slika 34: Lokacija talnega izpusta in vtoka v dovodni kanal za turbine (Avtor: terenski ogled, 26.3.2017)

3.2.2.4 Dovodni kanal za turbine HE

S stališča načrtovanja ribjega prehoda je pomembna predvsem lokacija vtoka dovodnega kanala v turbine in stanje zaščite pred vtokom plavja v dovodni kanal za HE oziroma obstoječe zaščite pred vtokom rib v dovodni kanal.

Vtok v dovodni kanal je zgrajen ob desni strani jezu (slika 31 in 34). Dovodni kanal služi tudi kot obtok ob montaži, popravilu ali zamenjavi vreče. Na vtoku so nameščene grobe rešetke (na medsebojni razdalji približno 30 cm), ki preprečujejo vtok večjega plavja v dovodni kanal (slika 35).



Slika 35: Grobe rešetke na vtoku v dovodni kanal HE (Avtor: terenski ogled, 26.3.2017)

3.2.2.5 Iztok iz turbin HE

Lokacija iztoka je vidna na sliki 31. Nahaja se 240 m dolvodno od odvzemnega objekta, kar pomeni, da je velikost pretoka na 240 metrskem odseku glavne struge močno odvisna od delovanja HE.

3.2.2.6 Obstoječe stanje jezu in okolice

Iz terenskega ogleda lokacije HE, ki smo ga opravili 26.3.2017 lahko ugotovimo, da je jezovna zgradba v dobrem stanju, zunanjih poškodb ni bilo zaznati. Objekt se očitno redno obnavlja, saj so bile poškodbe na leseni oblogi jezu in poškodovane mehke vreče, ki smo jih popisali pred dvema letoma v sklopu terenskega ogleda pri projektu Ocena stanja in predlogi izboljšav za prehodnost vodnih organizmov na Zgornji Savi, v času med terenskimi ogledi sanirane (slika 36 in 37).



Slika 36: Poškodbe na jezu, terenski ogled 10.3.2015 (Blatnik in sod., 2015)



Slika 37: Sanirane poškodbe na jezu (Avtor, terenski ogled, 26.3.2017)

Na brežinah gorvodno in dolvodno od jezu ni zaznati večjih poškodb. Levi obrežni zid in brežina dolvodno od jezu (pod železniško progo) sta bila s strani VGP Kranj sanirani pred kratkim, leta 2010 (slika 38 in 39) in 2013.



Slika 38: Poškodovana leva dolvodna brežina (Sodnik, 2010)



Slika 39: Sanirane poškodbe leve brežine (Sodnik, 2010)

3.2.3 Vpliv delovanja derivacijskega tipa hidroelektrarne na okolje in opis ekološko sprejemljivega pretoka

HE Soteska je derivacijski (kanalski) tip hidroelektrarne. Pri teh je značilno, da sta odvzem vode iz vodotoka in iztok vode iz HE nazaj v vodotok locirana na daljši medsebojni vzdolžni razdalji. Tako bi lahko v času nizkih pretokov v vodotoku prišlo do tega, da bi bila velika večina pretoka ali celo celotni pretok odvzet za delovanje HE, v strugi med odvzemom in iztokom pa bi ostal le zelo nizek pretok oziroma bi bila struga suha, kar bi imelo izredno negativni vpliv na rečni ekosistem 240 m odseka glavne struge. Za preprečitev takih vplivov mora biti po veljavni zakonodaji v strugi med mestom odvzema in izpusta v vseh letnih obdobjih zagotovljen ekološko sprejemljivi pretok, katerega pomen smo ga opisali v poglavju 2.2.

Po trenutno veljavnem vodnem dovoljenju (št. 35523-24/2016, ki velja do leta 2033) je vrednost ekološko sprejemljivega pretoka (Q_{es}) na HE Soteska $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Ta vrednost je bila v vodno dovoljenje prenesena iz prej veljavne koncesijske pogodbe. Pretok $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ v odseku glavne struge pod jezo je zagotovljen z iztokom vode skozi talni izpust ob jezu (slika 34).

3.2.4 Omejitve v prostoru

Jez HE Soteska je umeščen v ozko dolino, po kateri je verjetno dobil tudi ime. Na približno 120 m širokem dnu doline poleg jezovne zgradbe in objektov HE, poteka na desnem bregu tudi državna regionalna cesta I. reda Bled-Bohinj in na levem bregu Bohinjska železniška proga, obe zelo prometni zlasti v poletnih mesecih. Pri zasnovi ribjega prehoda, ki ga umeščamo ob jezovno zgradbo HE Soteska, tako prometna in železniška povezava predstavljata pomembno omejitev v prostoru (slika 40).



Slika 40: Nekatere omejitve pri umeščanju ribjega prehoda v prostor: progovni pas in varovalni pas državne ceste

3.2.4.1 Progovni in varnostni železniški pas

Pri gradnji ob železniški progi je z Zakonom o varnosti v železniškem prometu (ZVZelP) potrebno upoštevati progovni pas in varovalni progovni pas (45. in 46. člen ZVZelP). V progovnem pasu se smejo opravljati le dela in graditi le objekti, napeljave in naprave železniške infrastrukture, ki so potrebni za delovanje železniškega sistema. Izven naselja je progovni pas razširjen na vsako stran od osi skrajnih tirov za **8 m**. Varovalni progovni pas je 100 m širok zemljiški pas, ki poteka od meje progovnega pasu na obeh straneh proge. Gradnja objektov v tem pasu je dovoljena s pridobitvijo predhodnega soglasja upravljalca.

3.2.4.2 Regionalna cesta Bled-Bohinj

Pri gradnji ob državni cesti je z Zakonom o cestah (ZCes-1) potrebno upoštevati varovalni pas ob državni cesti (66. člen ZCes-1). Gradnja in rekonstrukcija objektov ter izvajanje kakršnih koli del na pripadajočih zemljiščih v varovalnem pasu državne ceste so dovoljeni le s soglasjem direkcije. Varovalni pas državne ceste se meri od zunanjega roba cestnega sveta v smeri prečne in vzdolžne osi, pri premostitvenih objektih pa od tlorisne projekcije najbolj izpostavljenih robov objekta na zemljišče ter pri regionalnih cestah znaša **15 metrov**.

3.3 IZBIRA UKREPA ZA IZBOLJŠANJE PREHODNOSTI NA ODSEKU JEZU HE SOTESKA

Možne ukrepe za zagotavljanje prehodnosti prečnih vodnih objektov ter s tem izboljšanje povezanosti vodotokov smo opisali v poglavju 2.3. V spodnjih alinejah smo opravili oceno možnih ukrepov:

- **Odstranitev pregrade.** Ocenjujemo, da ta ukrep v primeru jezu HE Soteska ne bi bil ustrezen, ker objekt zagotavlja stabilizacijo niveleta dna struge in ker je namenjen za hidroenergetsko izrabo vodnega potenciala Save Bohinjke. Objekt je v dobrem stanju. Njegova odstranitev bi imela negativne posledice na stabilizacijo brežin na katerih potekata pomembni prometni povezavi. Nedvomno bi bila vzpostavitev naravnega stanja struge na tem odseku tudi zelo drag poseg.
- **Transport rib preko splavnice** seveda na tem odseku ni mogoč, saj na obstoječem objektu ni splavnice za transport plovil. Že v poglavju 2.3 pa smo zapisali, da ta ukrep tudi ob obstoječi splavnici ni učinkovit ukrep za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotoka.
- **Fizično premeščanje rib** je lahko zgolj začasen ukrep, kot dolgoročen pa je le ta ustrezen samo v izjemnih primerih.
- **Izgradnja ribjega prehoda.** Ocenjujemo, da bi bila izgradnja ustreznega/učinkovitega ribjega prehoda ob jezu HE Soteska najustreznejši ukrep za izboljšanje prehodnosti na obravnavanem odseku. Ustrezen ribji prehod bi omogočal prehajanje vsem vodnim organizmom.

3.4 PRIDOBITEV PODATKOV O VODNIH ORGANIZMIH NA OBRAVNAVANEM OBMOČJU

Z Zakonom o sladkovodnem ribištvu leta 1976 je bil ustanovljen Ribiški kataster, ki predstavlja javno podatkovno zbirko, ki vsebuje evidence o sladkovodnem ribištvu. Ribiški kataster vodi Zavod za ribištvo Slovenije (ZZRS) in je javno dostopen kot spletna aplikacija »Ribkat«. Iz te spletne aplikacije smo za potrebe magistrske naloge črpali evidence in podatke o ribiških območjih, okoliših, revirjih in izločenih vodah ter izvajanju upravljanja v njih in evidence ter podatke o stanju ribjih populacij na obravnavanem območju. Pomemben vir informacij je bil tudi jeseni 2016 izdan Načrt ribiškega upravljanja v gornjesavskem ribiškem območju za obdobje 2017-2022 (ZZRS, 2016). V fazi pridobitve podatkov o vodnih organizmih na obravnavanem območju in kasnejšem načrtovanju zasnove ribjega prehoda sta nam s strokovnimi nasveti pomagali tudi strokovni sodelavki ZZRS ga. Maša Čarf in dr. Daša Zabric.

3.4.1 Ureditev ribiškega upravljanja

Porečje Save Bohinjke spada v gornjesavsko ribiško območje. Ribiško območje je največja prostorska enota za ribiško upravljanje, ki združuje več ribiških okolišev s podobnimi ekosistemskimi značilnostmi (ZZRS, 2016). Na porečju Save Bohinjke sta določena dva ribiška okoliša: Blejski ribiški okoliš in Bohinjski ribiški okoliš, mejo med njima predstavlja ravno jezo HE Soteska (preglednica 21). Odsek dolvodno od jezu HE Soteska do Cajhnovega jezu spada v revir Sava Bohinjka 4 in je v izvajanju ribiškega upravljanja ribiške družine Bled. Gorvodno od jezu HE Soteska do Cestnega mostu pod Bohinjsko Bistrico poteka odsek revirja Sava Bohinjka 3. Skladno z Uredbo o določitvi voda posebnega pomena ter načinu izvajanja ribiškega upravljanja v njih ta revir spada pod vode posebnega pomena, ribiško upravljanje v njem pa tako izvaja Zavod za ribištvo Slovenije.

Preglednica 21: Razdelitev ribiškega upravljanja na Savi Bohinjki (RibKat, Pridobljeno 18. 3. 2017.)

Šifra Ro	Ribiško območje	Šifra Rok	Ribiški okoliš	Šifra izvajalca	Izvajalec	Šifra revirja	Revir	Tip rabe revirja	Zgornja meja	Spodnja meja	Površina (Ha)
D	GORNJESAVSKO RIBIŠKO OBMOČJE	18	Blejski ribiški okoliš	2	BLED	001	Sava Bohinjka 4	Ribolovni revir-tekoče vode	Jez v Soteski	Cajhnov jez	33,70
D	GORNJESAVSKO RIBIŠKO OBMOČJE	17	Bohinjski ribiški okoliš	63	ZAVOD ZA RIBIŠTVO SLOVENIJE	004	Sava Bohinjka 3	Ribolovni revir-tekoče vode	Cestni most pod Bohinjsko Bistrico	Jez v Soteski	32,00
D	GORNJESAVSKO RIBIŠKO OBMOČJE	17	Bohinjski ribiški okoliš	65	BOHINJ	002	Sava Bohinjka 1	Ribolovni revir-tekoče vode	Most pri Sv. Janezu	Rja pri vasi Polje	5,50
D	GORNJESAVSKO RIBIŠKO OBMOČJE	17	Bohinjski ribiški okoliš	65	BOHINJ	004	Sava Bohinjka 2	Ribolovni revir-tekoče vode	Rja pri vasi Polje	Cestni most pod B. Bistrico	7,20

3.4.2 Kakovost oziroma stanje voda

Po zadnjih rezultatih monitoringa ekološkega stanja vodotokov (ARSO, obdobje 2009-2015) je bila Sava Bohinjka ovrednotena z oceno dobro. Monitoring se izvaja v skladu z Okvirno direktivo o vodah (poglavje 2.2.1), ekološko stanje vodnega telesa pa se oceni z ocenami: zelo slabo, slabo, zmerno, dobro, zelo dobro. Skladno z direktivo je potrebno na vseh vodah dosegati dobro ekološko stanje. Velik delež pri ohranitvi takšnega stanja voda bi imelo tudi izboljšanje prehodnosti za vodne organizme na jezu HE Soteska.

Po oceni ekomorfološke spremenjenosti vodotokov je večji del Save Bohinjke evidentiran kot (delno) zelo malo spremenjen vodotok (ZZRS, 2016).

3.4.3 Ribje vrste

Savo Bohinjko uvrščamo med salmonidne vode. V spodnji preglednici je prikazana naseljenost salmonidnih in ciprinidnih vrst na posameznih lokacijah Save Bohinjke, ki je bila ocenjena z ihtiološkimi raziskavami ZZRS po letu 2000. Po teh rezultatih je v območje srednje Save Bohinjke pri naselju Nomenj (nekaj kilometrov nad HE Soteska) najgostejše naseljeno območje v gornjesavskem ribiškem območju. Te številke sicer kažejo na dobro naseljenost rib v Savi Bohinjki nad neprehodnim jezo HE Soteska, a so lahko tudi zavajajoče, saj veliko gostoto naseljenosti v območju naselja Nomenj lahko pripišemo predvsem tujerodnim ribjim vrstam in njihovem vlaganju v času ribolova. Medtem ko so nekatere domorodne vrste tu slabo zastopane (ZZRS, 2016).

Preglednica 22: Naseljenost ribjih vrst v ribolovnih revirjih Save Bohinjke (ZZRS, 2016)

Ribiški okoliš	Vodotok	Lokacija	Leto	Ciprinidi [kg/ha]	Salmonidi [kg/ha]	Skupaj [kg/ha]
Blejski ribiški okoliš	Sava Bohinjka	Ribno	2007	10	263	273
Bohinjski ribiški okoliš	Sava Bohinjka	Bohinjska Bistrica - Soteska	2013	0,6	34,2	34,8
Bohinjski ribiški okoliš	Sava Bohinjka	Bohinjska Bistrica - Soteska	2014	1,2	54,9	56,1
Bohinjski ribiški okoliš	Sava Bohinjka	Log - D breg	2007		132,7	132,7
Bohinjski ribiški okoliš	Sava Bohinjka	Log - L breg	2007	0,4	160,7	161,1
Bohinjski ribiški okoliš	Sava Bohinjka	Nomenj	2007	43,1	5263,9	5307
Bohinjski ribiški okoliš	Sava Bohinjka	Soteska	2007	1,3	55,9	57,2

Pri pridobivanju informacij o ribjih vrstah na obravnavanem območju smo se osredotočili na prvi ribiški revir gorvodno in dolvodno od jezu HE Soteska. Kot smo to zapisali zgoraj, sta to revirja Sava Bohinjka 3 (gorvodno) in Sava Bohinjka 4 (dolvodno). Tako smo pri obravnavi zajeli celotno območje od Cajhnovega jezu do cestnega mostu pod Bohinjsko Bistrico.



Slika 41: HE Soteska predstavlja mejo med revirjema Sava Bohinjka 3 (ZZRS) in Sava Bohinjka 4 (Ribiška družina Bled)

Revirja Save Bohinjke 3 in 4 naseljuje 12 ribjih vrst, ki se nahajajo tako v spodnjem kot v zgornjem revirju. Seznam teh ribjih vrst je prikazan v preglednici 23.

Preglednica 23: Ribje vrste, ki naseljujejo revirja Sava Bohinjka 3 in 4 (RibKat, Pridobljeno 19. 03. 2017.)

Vrsta	Znanstveno ime	Lovna vrsta	Uredba	Habitatna direktiva	Rdeči seznam	Rdeči seznam opis	Varstvena doba
pohra	<i>Barbus balcanicus</i>	Da	H	2,5	-	-	01.05. - 30.06.
kapelj	<i>Cottus gobio</i>	Ne	H	2	V	ranljiva vrsta	-
menek	<i>Lota lota</i>	Da	H	-	E	prizadeta vrsta	01.12. - 31.03.
potočna postrv	<i>Salmo trutta fario</i>	Da	-	-	E	prizadeta vrsta	01.10.-28.02.
šarenka	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Da	-	-	-	-	01.12. - 28.02.
sulec	<i>Hucho hucho</i>	Da	H	2,5	E	prizadeta vrsta	15.02. - 30.09.
jezerska zlatovčica	<i>Salvelinus umbla</i>	Da	-	-	-	-	01.12. - 28.02.
potočna zlatovčica	<i>Salvelinus fontinalis</i>	Da	-	-	-	-	01.12. - 28.02.
lipan	<i>Thymallus thymallus</i>	Da	-	5	V	ranljiva vrsta	01.12. - 15.05.
klen	<i>Squalius cephalus</i>	Da	-	-	-	-	01.05. - 30.06.
blistavec	<i>Telestes souffia</i>	Ne	Z,H	2	E	prizadeta vrsta	-
pisanec	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Da	-	-	-	-	01.04. - 30.06.

Legenda (RibKat):

Uredba - Uredba o zavarovanih prosto živečih živalskih vrstah (Uradni list RS, št. 46/2004, 109/2004, 84/2005, 115/2007, 96/2008, 36/2009)

Z - zavarovana vrsta

H - vrsta, katere habitat se ohranja

Habitatna direktiva - Habitatna direktiva - Evropsko pomembna vrsta = Direktiva sveta Evrope 92/43/EGS o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst

2 - živalske vrste v interesu Evropske skupnosti, za ohranjanje katerih je treba določiti posebna ohranitvena območja

5 - živalske vrste v interesu Evropske skupnosti, pri katerih za odvzem iz narave in izkoriščanje lahko veljajo ukrepi upravljanja

Rdeči seznam - Pravilnik o uvrstitvi ogroženih rastlinskih in živalskih vrst v rdeči seznam (Uradni list RS, št. 82/2002, 42/2010)

E - prizadeta vrsta

V - ranljiva vrsta

Varstvena doba – Časovno obdobje v letu, ko vrst ni dovoljeno loviti (največkrat se sklada s časom drstitve)

Med 12 vrstami je po Uredbi o zavarovanih prosto živečih živalskih vrstah ena - blistavec, označena kot zavarovana (Z) živalska vrsta, za katero po uredbi velja, da je le to prepovedano zavestno poškodovati, zastrupiti, usmrtiti, loviti, ujeti ali vznemirjati. Po uredbi je pri blistavcu in za druge štiri vrste iz zgornjega seznama, varovan tudi njihov habitat (H). Med drugimi varstvenimi cilji ohranjanja habitata teh vrst je vključeno tudi ohranjanje celovitosti habitata oziroma ponovnega vzpostavljanja fragmentiranih delov habitata nazaj v celoto.

Po Habitatni direktivi je varovanih pet vrst. Vrste, ki so pri tem označene s številko 2 so t.i. evropsko pomembne vrste katerih habitate je treba varovati.

Rdeči seznam na katerega uvrščamo prizadete (E) in ranljive (V) vrste določa Pravilnik o uvrstitvi ogroženih rastlinskih in živalskih vrst. Za prizadete vrste velja, da njihov obstanek na območju Republike Slovenije (RS) ni verjeten, če bodo še naprej delovali dejavniki ogrožanja in da se je številčnost teh vrst zmanjšala na kritično stopnjo. Med prizadete vrste v RS, ki naseljujejo zgoraj opisana revirja, spadajo štiri: menek, potočna postrv, sulec in blistavec. Med ranljive vrste na območju RS uvrščamo tiste vrste za katere je verjetno, da bodo v primeru vnaprejšnjega delovanja dejavnikov ogrožanja, prešle v kategorijo prizadete vrste. Med te iz zgornjega seznama spadata kapelj in lipan.

3.4.4 Ocena migracij

Splošne značilnosti migracij rib smo opisali v poglavju 2.1.3. Tu se osredotočamo na selitvene značilnosti ribjih vrst, ki naseljujejo daljši odsek Save Bohinjke ob jezu HE Soteska.

Ribje vrste lahko razdelimo v razrede selitvenih razdalj pri običajni migraciji in v razrede selitvenih tipov v času drsti (Dussling, in sod., 2004). V preglednici 24 je prikazana takšna razdelitev za ribje vrste iz obravnavanega območja (razen za jezersko zlatovčico, katerih podatkov ni bilo mogoče pridobiti).

Preglednica 24: Razvrstitev ribjih vrst obravnavanega območja po razredih selitvenih tipov in selitvenih razdalj (razen za jezersko zlatovčico) (Dussling, in sod., 2004)

Ribja vrsta / družina	Selitveni tip	Selitvena razdalja
<i>Salmonidae</i>		
potočna postrv – <i>Salmo trutta fario</i>	potamodromna	kratka
šarenka – <i>Oncorhynchus mykiss</i>	potamodromna	kratka
sulec – <i>Hucho hucho</i>	potamodromna	srednja – dolga
potočna zlatovčica – <i>Salvelinus fontinalis</i>		kratka
<i>Thymallidae</i>		
lipan – <i>Thymallus thymallus</i>		kratka
<i>Cyprinidae</i>		
klen – <i>Squalius cephalus</i>	potamodromna	kratka
blisavec – <i>Telestes souffia</i>		kratka
pisanec – <i>Phoxinus phoxinus</i>		kratka
pohra – <i>Barbus balcanicus</i>		kratka
<i>Cottidae</i>		
kapelj – <i>Cottus gobio</i>		kratka
<i>Lotidae</i>		
menek – <i>Lota lota</i>	potamodromna	srednja

Legenda (Dussling, in sod., 2004):

Selitveni tip:

Potamodromna – za potrebe drstitve ribja vrsta migrira iz jezer v reke ali znotraj rečnega sistema v katerem živi.

Ribja vrsta je bila označena s potamodromnim selitvenim tipom, samo v primeru, ko je bilo prepoznano, da je migracija v sosednje rečne odseke bistvena pri drstitvi.

Selitvena razdalja:

Kratka – migracija večinoma poteka znotraj enega rečnega odseka.

Srednja – ribe migrirajo tudi v sosednje rečne odseke (najznačilnejša pri drstitvah).

Dolga – ribe migrirajo čez več rečnih odsekov.

Kot lahko vidimo iz zgornje preglednice obravnavano območje v večini naseljujejo ribje vrste za katere je značilna potamodromna migracija v času drstitve. Na daljše razdalje (v sosednje) rečne odseke se selijo predvsem predstavnice salmonidne ribje družine, medtem ko se ciprinidne ribje vrste običajno selijo znotraj enega rečnega odseka, ob času drstitve pa tudi v sosednje. Najdlje se seli sulec.

3.4.5 Podatki o drstiščih na širšem območju načrtovanja ribjega prehoda

Ključna pri reprodukciji posameznih ribjih vrst so drstišča. To so posebni habitatni tipi, katerih nastanek in funkcionalnost je odvisna od geološke podlage, reliefa, padavin in spremenljivosti pretokov vode ter od različnih posegov v prostor. Pri litofilnih drstnicah (ribje vrste, ki odlagajo ike na kamnito ali prodnato podlago) so drstišča bolj ali manj stalna in se le ta ustvarijo pod različno visokimi naravnimi ali grajenimi stopnjami, kjer sta hitrost ter globina vode ustrezni in se tvori primerna struktura substrata dna za odlaganje iker. Na območju revirjev Sava Bohinjka 3 in 4 se taka drstišča nahajajo pod jezom HE Soteska, na lokaciji prikazani na sliki 42. Tu se drstijo potočna postrv (decembra), lipan (aprila) in sulec (aprila) (ZZRS, 2016).



Slika 42: Lokacija drstišč potočne postrvi, lipana in sulca, tik dolvodno od iztoka iz turbin HE Soteska (X=428195, Y=130527) (ZZRS, 2016)

Po poročilu ZZRS iz leta 2014 je bilo v popisu drstišč sulca, popisano tudi drstišče okoli 3,4 km gorvodno nad jezo HE Soteska.

3.4.6 Ocena prisotnosti ribjih vrst

Z namenom potrditve seznama ribjih vrst (preglednica 23) pridobljenega iz aplikacije Ribkat in za pridobitev natančnejših podatkov o prisotnosti posameznih ribjih vrst na obravnavanem območju, smo po nasvetu ZZRS opravili tudi pregled vzorčenj posamezne ribje vrste. Na spletnem portalu Biološke zbirke podatkov Zavoda za ribištvo Slovenije (www.biosweb.org) si je mogoče za vsako obravnavano ribjo vrsto ogledati, kje v Sloveniji je bila prisotnost ribje vrste potrjena na podlagi različnih vzorčenj. V preglednici 25 je prikazana ocena prisotnosti posamezne ribje vrste na celotnem odseku Save Bohinjke na podlagi pogostosti vzorčenja. Poleg tega je prikazana tudi prisotnost na podlagi izvora. Praviloma ribjega prehoda ne gradimo za tujerodne (alohtone) ribje vrste in jih tako pri načrtovanju prehoda ni potrebno upoštevati.

Preglednica 25: Ocena prisotnosti ribjih vrst na podlagi vzorčenja in izvor posamezne vrste

Ribja vrsta	Izvor	Prisotnost na podlagi vzorčenja
pohra	avtohtona	redka
kapelj	avtohtona	pogosta
menek	avtohtona	zelo redka
potočna postrv	avtohtona	pogosta
šarenka	<u>tujerodna</u>	pogosta
sulec	avtohtona	pogosta
jezerska zlatovčica	<u>tujerodna</u>	zelo redka
potočna zlatovčica	<u>tujerodna</u>	zelo redka
lipan	avtohtona	pogosta
klen	avtohtona	pogosta
blistavec	avtohtona	redka
pisanec	avtohtona	redke

3.4.6.1 Tujerodne vrste

Ribiška revirja Sava Bohinjka 3 in 4 naseljujejo tri tujerodne vrste (preglednica 25). Tujerodna (alohtona) živalska vrsta je tista, ki jo naseli človek in v biocenozi določenega ekosistema pred naselitvijo ni bila prisotna (11.člen, ZON). Jezersko zlatovčico so v Bohinjsko jezero začeli vlagati v času 2. svetovne vojne za prehranske potrebe vojakov. K nam je bila prinesena iz Avstrije. V Savi Bohinjki jezerska zlatovčica ne živi, enkratno vzorčenje te ribje vrste v reki pa verjetno lahko pripišemo temu, da je nekatere osebke odneslo iz Bohinjskega jezera. Potočna zlatovčica je bila k nam prinesena iz Kanade, v Savi Bohinjki pa je zelo redka. Šarenka je bila iz Severne Amerike v Evropo in kasneje v Slovenijo prinesena v drugi polovici 19. stol. V zadnjih desetletjih 20. stoletja se je pričela množično uporabljati za dopolnilna poribavljanja v ribolovne revirje v času ribolova. Šarenka je bila leta 1996 razširjena že v več kot dveh tretjinah ribiških okolišev v Sloveniji. V Savi Bohinjki se redno drsti in je v njej najpogostejše prisotna ribja vrsta (ZZRS, 2016).

3.4.6.2 Avtohtone vrste

Med pogoste ribje vrste, ki naseljujejo Savo Bohinjko spadajo potočna postrv, sulec, kapelj, lipan in klen. Redko vzorčene so bile pohra, pisanec in blistavec. Zelo redko vzorčen pa je bil menek.

Avtohtone vrste, ki jih je treba upoštevati pri načrtovanju ribjega prehoda bomo podrobneje obravnavali v naslednjem poglavju.

3.5 DOLOČITEV IHTIOLOŠKIH DEJAVNIKOV DIMENZIONIRANJA RIBJEGA PREHODA

Namen tega poglavja je določiti mejne vrednosti za načrtovanje ribjega prehoda, ki temeljijo na ihtioloških dejavnikih ribjih vrst na obravnavanem območju.

Kot smo zapisali že v zgornjem poglavju, širši odsek Save Bohinjke ob jezu HE Soteska naseljuje 12 ribjih vrst. Od teh so tri vrste (šarenka, jezerska zlatovčica in potočna zlatovčica) tujerodne in jih pri določitvi ihtioloških dejavnikov za dimenzioniranje ribjega prehoda ne obravnavamo. Tako pri obravnavi upoštevamo karakteristike devetih avtohtonih ribjih vrst:

- družina *Salmonidae*:
 - potočna postrv
 - sulec
- družina *Thymallidae*:
 - lipan
- družina *Cyprinidae*:
 - klen
 - blistavec
 - pisanec
 - pohra
- družina *Cottidae*:
 - kapelj
- družina *Lotidae*:
 - menek

3.5.1 Ribji pas

Glede na dejavnike opisane v poglavju 2.4.1 ter glede na vrstno sestavo rib lahko vzdolžne odseke rek razdelimo na različne ribje pasove. Glede na določen ribji pas je mogoče iz literature in tujih smernic določiti nekatere mejne in priporočljive vrednosti za načrtovanje ribjega prehoda.

Vrstna sestava revirjev Sava Bohinjka 3 in 4 je izredno pestra. Rečni odsek naseljuje pet družin ribjih vrst, od največje salmonidne: sulca do najmanjših ciprinidnih: blistavca in pisanca.

Glede na ribjo sestavo in morfologijo rečne struge obravnavani odsek spada v območje **spodnjega postrvjega pasu in lipanskega pasu**.

3.5.2 Merodajne velikosti organizmov

Podatki o velikosti rib na obravnavanem odseku so pomembni pri načrtovanju dimenzij ribjega prehoda. Največja riba, ki glede na svojo velikost za uspešno prehajanje ribjega prehoda potrebuje največ prostora, pogojuje izbiro najmanjših dimenzij ribjega prehoda. V preglednici 26 so prikazane merodajne velikosti največjih ribjih vrst iz obravnavanega odseka (zbrane iz preglednice 2). Velikosti teh ribjih vrst smo preverili tudi v spletni aplikaciji BIOS, kjer so bile velikosti določene na podlagi vzorčenj. Poleg tega smo v preglednico 26 dodali tudi podatke o največjih velikostih manjših ribjih vrst na obravnavanem odseku.

Preglednica 26: Merodajne velikosti ribjih vrst, ki naseljujejo revirja Sava Bohinjka 3 in 4 (Schmutz in Mielach, 2013; BIOS)

Ribja vrsta		Dolžina telesa [m]	Širina telesa [m]
sulec	<i>Hucho hucho</i>	1,0 / 1,2	0,10
menek	<i>Lota lota</i>	0,7	0,10
klen	<i>Leuciscus cephalus</i>	0,6	0,07
lipan	<i>Thymallus thymallus</i>	0,5	0,05
potočna postrv	<i>Salmo trutta fario</i>	0,5	0,05
pohra	<i>Barbus balcanicus</i>	0,4	0,03
blistavec	<i>Telestes souffia</i>	0,2	0,02
kapelj	<i>Cottus gobio</i>	0,18	Neznana
pisanec	<i>Phoxinus phoxinus</i>	0,15	Neznana

Kot lahko vidimo iz zgornje preglednice je **sulec največja ribja vrsta na odseku**. Pri določanju najmanjših dimenzij ribjega prehoda je torej potrebno upoštevati dolžino telesa 1,0 m, oziroma 1,2 m in širino telesa 0,1 m.

3.5.3 Plavalne sposobnosti

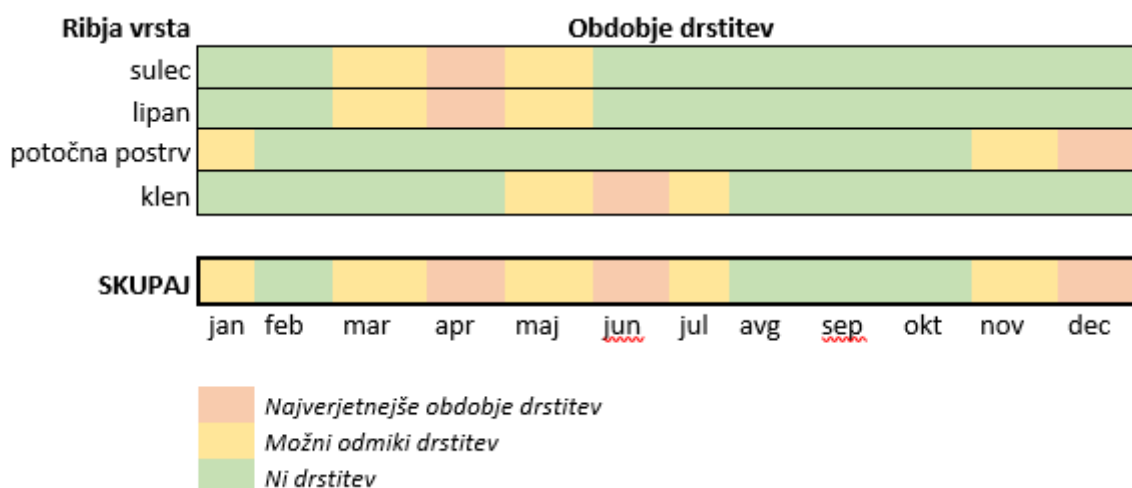
Ribje plavalne sposobnosti smo podrobneje opisali v poglavju 2.4.2.1, kjer smo obravnavali tudi ribjo sposobnost preskakovanja ovir. Na skakalne lastnosti prisotnih ribjih vrst se pri načrtovanju ribjega prehoda ob HE Soteska ne bomo osredotočali, ker je potrebno načrtovati tak tip ribjega prehoda, ki omogoča prehod tudi vodnim organizmom, ki plavajo ob dnu, kar pa pomeni, da ribja skakalna sposobnost ne igra vloge pri njeni sposobnosti prehajanja ribjega prehoda.

Če je pri obravnavi velikosti prisotnih ribjih vrst pomembna velikost največje, smo pri obravnavi plavalne sposobnosti osredotočeni na plavalno sposobnost najslabšega plavalca iz najšibkejše ribje vrste. To je kritična pospešena hitrost plavanja tega organizma, ki je merodajna hitrost pri dimenzioniranju pretoka skozi ribji prehod.

Najslabši plavalci med prisotnimi ribjimi vrstami v revirjih Sava Bohinjka 3 in 4 so mladice blistavca, kaplja in pisanca (FAO/DVWK, 2002). Natančnih podatkov o kritični pospešeni hitrosti plavanja, ki jo dosegajo, ni bilo mogoče pridobiti. Kot smo zapisali že v teoretičnih izhodiščih, naj bi po Jens in sod. (1997) kritična pospešena plavalna hitrost pri mladiceh in najmanjših ribjih vrstah znašala približno 0,35 do 0,6 m/s. Z pravilno izbiro tipa ribjega prehoda in njegove zasnove se tako hitrost lahko doseže ob dnu ali straneh ribjega prehoda (na primer ribji prehod z vertikalnimi režami) (Schmutz in Mielach, 2013). Maksimalno hitrost, ki jo lahko doseže pretok vode skozi ribji prehod za potrebe učinkovitega prehajanja vseh vodnih organizmov smo obravnavali v poglavju 2.5.5. Ta ne sme presegati 2 m/s, podrobneje pa je določena tudi v preglednici 4.

3.5.4 Obdobja drstitve

Pri načrtovanju ribjega prehoda strmimo k temu, da prehod deluje čim daljše obdobje v letu, predvsem pa v obdobju, ko se ribe selijo zaradi reprodukcije. V poglavju 3.4.5 smo zapisali, da se v neposredni bližini jezua HE Soteska nahajajo dristišča potočne postrvi, lipana in sulca. Na podlagi teh podatkov in glede na podatke pridobljene neposredno iz ZZRS so na spodnji sliki prikazana obdobja drstitev štirih ribjih vrst, ki se v obdobju drstitev selijo na daljše razdalje. Z rdečo so označeni meseci, v katerih se ribja vrsta najpogosteje drsti. Ker so obdobja vsako leto nekoliko drugačna, saj so odvisna od naravnih razmer in njihovih sprememb (Ciuha in sod., 2014), smo predpostavili še najverjetnejše možne odmike drstitev (odmik za en mesec).



Slika 43: Obdobja ribjih selitev zaradi reprodukcije

Na zgornji sliki lahko vidimo, da največ selitev zaradi drstitev povprečno poteka med **marcem in julijem**, pomembno pa je tudi obdobje drstitve potočne postrvi od **novembra do januarja**. Prehodnost v ribjem prehodu mora biti tako nujno zagotovljena zlasti v teh obdobjih. Vseeno pri načrtovanju strmimo k temu, da je, v kolikor je to mogoče, prehodnost zagotovljena tudi izven obdobji pogostejših selitev zaradi drstitev zgornjih ribjih vrst, saj se ribe na krajše razdalje selijo tudi zaradi drugih razlogov.

3.6 HIDROLOŠKA IN HIDRAVLIČNA ANALIZA OBMOČJA

Po pridobitvi informacij o vodnih organizmih na obravnavanem območju, na podlagi katerih smo z upoštevanjem teoretičnih izhodišč določili ihtiološke dejavnike dimenzioniranja ribjega prehoda, v naslednji fazi načrtovanja ribjega prehoda sledi hidrološka in hidravlična analiza pretočnih razmer Save Bohinjke na območju jezu HE Soteska.

3.6.1 Krivulja trajanja pretokov in določitev pretoka za delovanje ribjega prehoda

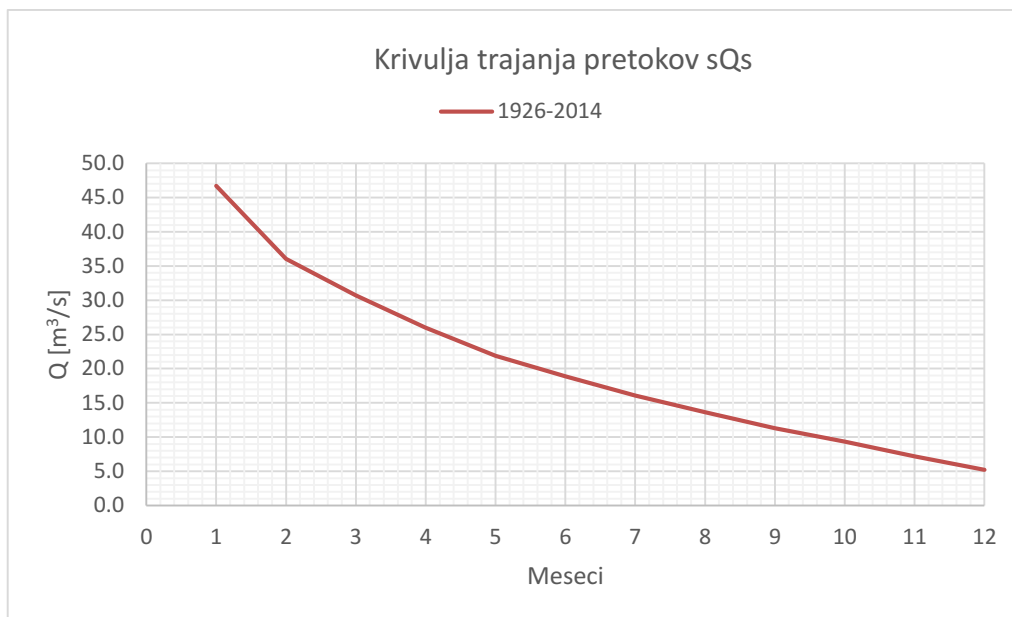
Hidrološke značilnosti porečja Save Bohinjke smo obravnavali že v poglavju 3.2. Opravljena statistična analiza srednjih mesečnih vrednosti pretokov za analizo pretočnih razmer za potrebe načrtovanja ribjega prehoda ne zadostuje. Pri načrtovanju ribjega prehoda strmimo k tem, da le ta obratuje tudi ob manjših pretokih, ki so lahko kritični pri zagotavljanju ustreznega pretoka za delovanje prehoda. Analiza srednjih mesečnih pretokov je bila opravljena za VP Soteska in VP Bodešče. VP Soteska trenutno ne obratuje več, je pa neprekinjeno delovala od leta 1926 do 1989 in se je nahajala okoli 3 km gorvodno od HE Soteska (slika 31). Slabost niza podatkov iz te postaje je, da ne zajema podatkov iz zadnjih 25 let. Ker trendi pretokov v zadnjem obdobju kažejo na zmanjševanje količin srednjih in malih pretokov (Kobold in sod., 2012), smo pri izdelavi krivulje trajanja pretokov upoštevali tudi merjene podatke iz VP Bodešče. Ker med VP Soteska in VP Bodešče ni večjih pritokov, smo merjene pretoke iz obdobja 1990-2014 na postaji Bodešče pomnožili s faktorjem iz razmerja velikosti prispevne površine med VP Bodešče in Soteska. Tako smo dobili predpostavljene teoretične pretoke za VP Soteska za zadnje časovno obdobje. Ker v fazi izdelave magistrskega dela s strani upravljalca HE ni bilo mogoče pridobiti morebitnih merjenih pretokov na sami lokaciji HE Soteska, so ti podatki v danem trenutku najboljši pokazatelj kakšni so pretoki na jezu.

V spodnji preglednici so prikazane vrednosti srednjega letnega pretoka na HE Soteska izračunanega za različne nize podatkov merjenih pretokov. Niz podatkov z obdobja 1926-1989 predstavlja merjene pretoke na VP Soteska, 1990-2014 so teoretični pretoki na VP Soteska, izračunani s faktorjem iz razmerja prispevnih površin, v nizu 1926-2014 pa so združeni pretoki iz obeh obdobji. Primerjava srednjih pretokov potrjuje zmanjševanje količin srednjih in malih pretokov v zadnjem obdobju (preglednica 27).

Preglednica 27: Srednji letni pretok na jezu HE Soteska

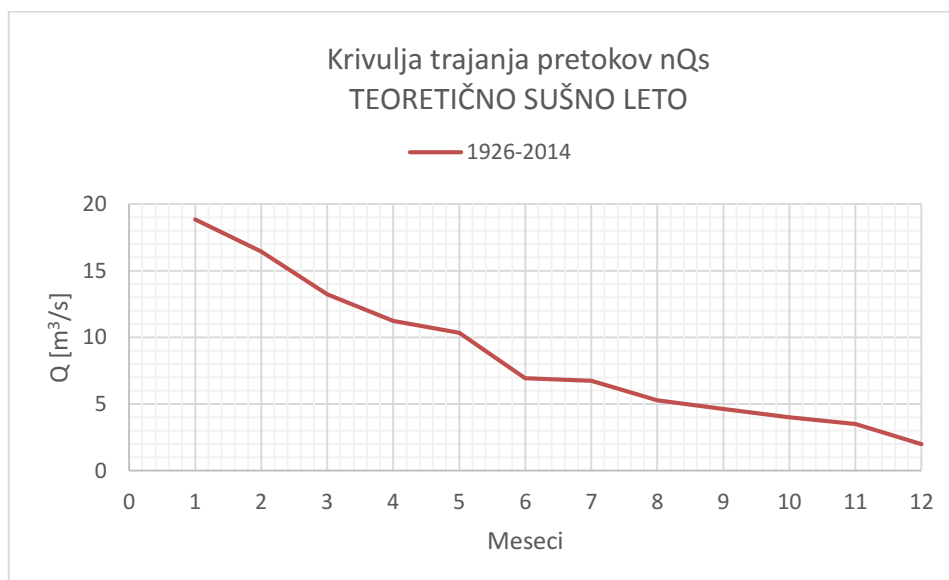
Niz podatkov	Srednji letni pretok [m ³ /s]
1926-1989	21,3
1990-2014	17,6
1926-2014	20,2

Na podlagi zgornjih predpostavk smo iz podatkovnega niza podatkov 1926-2014 izračunali krivuljo trajanja povprečnih srednjih dnevni pretokov (sQs), ki je prikazana na grafikonu 4.



Grafikon 4: Krivulja trajanja povprečnih srednjih dnevnih pretokov na jezu HE Soteska

Ker ribji prehod načrtujemo tako, da le ta deluje čim daljše obdobje v letu, je potrebno poznavanje obdobj in pojavljanja nizkih pretokov. Tako smo izračunali tudi krivuljo trajanja najmanjših srednjih dnevnih pretokov (nQs), ki predstavlja teoretično sušno leto (grafikon 5).



Grafikon 5: Krivulja trajanja najmanjših srednjih dnevnih pretokov na jezu HE Soteska – TEORETIČNO SUŠNO LETO

Ker je pojav teoretičnega sušnega leta izredno malo verjeten, smo iz niza podatkov za izračun krivulje trajanja pretokov za realno sušno leto izbrali podatke iz štirih let z najnižjimi letnimi povprečji v nizu podatkov (preglednica 28). Krivulja trajanja najmanjših srednjih dnevnih pretokov, ki predstavlja realno sušno leto, je prikazana na grafikonu 6.

Preglednica 28: Štiri leta z najnižjimi letnimi povprečji za določitev krivulje trajanja pretokov za realno sušno leto.

Leto	1946	2003	2005	2011
Letno povprečje [m^3/s]	11,4	10,5	11,8	10,8



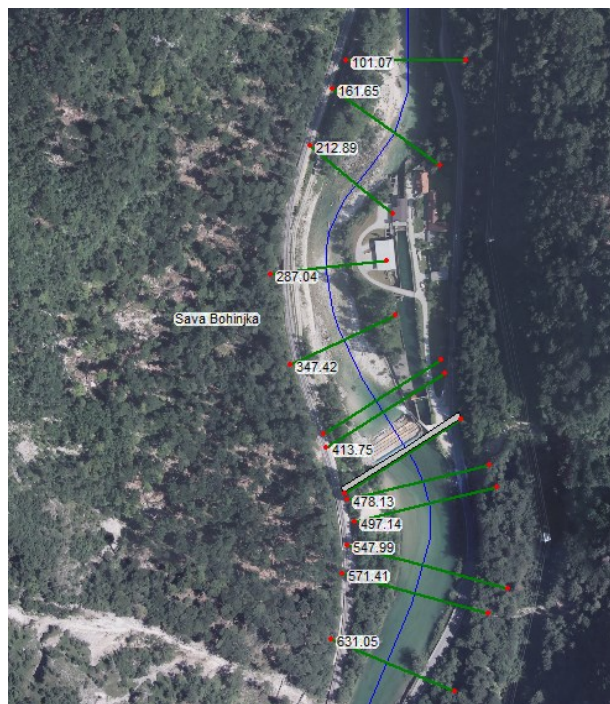
Grafikon 6: Krivulja trajanja najmanjših srednjih dnevnih pretokov na jezu HE Soteska – REALNO SUŠNO LETO

Že iz krivulje trajanja pretokov za teoretično sušno leto lahko vidimo, da je pretok Save Bohinjke vse dni v letu večji ali vsaj enak $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Če pogledamo realno sušno leto, pa je ta vrednost še večja, $3,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Na odseku HE Soteska mora biti v glavni strugi stalno zagotovljen Q_{es} v višini $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Primerjava pretokov pokaže, da je tako na obravnavanem odseku vedno pretok večji od Q_{es} , katerega lahko uporabimo tudi za delovanje ribjega prehoda. Tako z zagotavljanjem pretoka za delovanje ribjega prehoda v obdobjih ribjih selitev zaradi reprodukcije ne bi bilo težav, saj je najmanjši srednji dnevni pretok v Savi Bohinjki dovolj velik, da bi ribji prehod deloval celo leto (razen seveda v času izredno visokih voda). Ker mora biti Q_{es} zagotovljen na celotnem odseku glavne struge, moramo v primeru, da bomo za delovanje ribjega prehoda uporabili del ali celoten Q_{es} , vhod (iztočni objekt) ribjega prehoda načrtovati tik pod jezo.

3.6.2 Hidravlična analiza pretočnih razmer Save Bohinjke na območju jezu HE Soteska

Pri načrtovanju ukrepov za izboljšanje prehodnosti za vodne organizme se ne smemo osredotočiti zgolj na zagotavljanje prehodnosti čez, vendar moramo problematiko obravnavati tudi širše. To je zlasti pomembno pri obravnavi izboljšanja prehodnosti na odseku jezu HE Soteska. Kot smo že zapisali je HE Soteska derivacijski (kanalski) tip hidroelektrarne pri katerem sta odzvem vode iz vodotoka in iztok vode iz HE nazaj v vodotok, locirana na medsebojni vzdolžni razdalji približno 240 m. Za proizvodnjo električne energije se lahko v dovodni kanal za turbine HE po vodnem dovoljenju odvaja največ $19 \text{ m}^3/\text{s}$ (Q_{t_max}). Ekološko sprejemljivi pretok, ki se mora ves čas zagotavljati na odseku glavne struge, znaša $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$. V obdobju, ko so pretoki Save Bohinjke manjši od $20,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Q_{t_max} + Q_{es}$), tako ne pride do prelivanja čez jezovno zgradbo, večina pretoka se uporablja za delovanje HE, skozi talni izpust pa izteka Q_{es} . Iz krivulje trajanja povprečnih srednjih dnevnih pretokov (sQs) (grafikon 4) lahko vidimo, da je pretok Save Bohinjke v povprečju manjši od $20,1 \text{ m}^3/\text{s}$ približno 7 mesecev na

leto. Kar pomeni, da je večino leta v glavni strugi na 240 m odseku pretok enak $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (pri predpostavki normalnega obratovanja HE). Pomembno je, da ugotovimo ali pri takšnem pretoku v obstoječi strugi pretočne razmere (zlasti globina vode v strugi) omogočajo prehodnost vodnim organizmom, z ozirom na največjo ribjo vrsto na odseku – sulca. V ta namen je bil v programskem orodju HEC-RAS izdelan hidravlični model odseka.



Slika 44: Hidravlični model odseka v programu HEC-RAS

Geometrijo v hidravličnem modelu predstavljajo posamezni prečni profili, ki smo jih izvozili iz progama Autocad Civil 3D. Prečni profili so rezultat obdelave digitalnega modela reliefa (DMR) območja, katerega podatke smo za potrebe magistrskega dela pridobili s strani Geodetske uprave Republike Slovenije. DMR je rezultat državnega snemanja, katerega pomanjkljivost je lahko slabša natančnost pri snemanju strug. Pri magistrskem delu gre za prikaz obdelave odseka in ker natančnejših podatkov ni bilo mogoče pridobiti, smo analizo izvedli na podlagi pridobljenih javnih podatkov. Pred dejanskim posegom na obravnavanem območju pa je potrebno izvesti natančnejšo geodetsko izmero odseka. Dimenzije jezovne zgradbe smo črpali iz pridobljene projektne dokumentacije in so opisane v poglavju 3.2.

Potrebno je bilo ugotoviti kakšne so globine vode v glavni strugi (od stacionaže 161,65 do 413,75 na sliki 44) pri najnižjem pretoku Save Bohinjke ($3,6 \text{ m}^3/\text{s}$). Pri takšnem stanju je pretok v glavni strugi enak $Q_{es} = 1,1 \text{ m}^3/\text{s}$, preostali pretok se uporablja za delovanje HE in tako je na iztoku iz HE na stacionaži 161,65 enak $3,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Izračun globin vode pri takšnem pretoku je prikazan na spodnji preglednici. Po Schmutz in Mielach (2013) naj bi splošna minimalna globina vode za prehajanje posamezne ribje vrste znašala $2,5 \times H_{ribe}$, pri čemer je H_{ribe} maksimalna višina največje ribje vrste na odseku. Največji predstavniki sulca so visoki okoli 19 cm torej mora znašati globina vode na tem odseku vsaj 0,5 m. Kot lahko vidimo iz preglednice 29 pa je pri najmanjšem pretoku globina vode v dveh profilih manjša od 0,5 m, v enem celo manjša od 0,2 m. Kar pomeni, da odsek glavne struge večino leta ni prehoden za predstavnike večjih ribjih vrst.

Preglednica 29: Globina vode v strugi pri najmanjšem pretoku Save Bohinjke (glavna struga $Q_{es}=1,1 \text{ m}^3/\text{s}$, na iztoku iz HE $Q=3,6 \text{ m}^3/\text{s}$)

Odsek	Stacionaža	Q Total [m^3/s]	Min kota dna struge [m n.v.]	Kota gladine vode [m n.v.]	GLOBINA VODE [m]
Sava Bohinjka	413,75	1,1	469,19	469,95	0,76
Sava Bohinjka	403,16	1,1	468,96	469,95	0,99
Sava Bohinjka	347,42	1,1	469,25	469,95	0,7
Sava Bohinjka	287,04	1,1	469,69	469,88	0,19
Sava Bohinjka	212,89	1,1	468,99	469,35	0,36
Sava Bohinjka	161,65	3,6	468,67	469,35	0,68
Sava Bohinjka	101,07	3,6	468,75	469,29	0,54

3.6.3 Načrtovanje ureditve prehodnosti glavne struge

V hidravlični analizi pretočnih razmer na odseku glavne struge smo pokazali, da se na odseku pri najmanjših pretokih Save Bohinjke v strugi pojavljajo izredno nizke globine vode. Kar pomeni, da odsek glavne struge večino leta ni prehodan za predstavnike večjih ribjih vrst. Izgradnja ribjega prehoda ob jezu, ki bi bil dimenzioniran tudi za večje ribje vrste bi bila tako brez pomena, saj zaradi neprehodnega odseka glavne struge v večini leta le te ne bi mogle niti priti do vhoda v ribji prehod, kaj šele, da bi ga uspešno prehajale.

Nizke globine vode na tem odseku Save Bohinjke so posledica nizkih pretokov in predvsem relativno široke struge. Pred izgradnjo ribjega prehoda je tako potrebno izboljšati prehodnost tega odseka ob manjših pretokih. Možne ukrepe izboljšanja prehodnosti preko hidroenergetskih pregrad z derivacijskim kanalom smo opisali v poglavju 2.5.2.1. Kot najustreznejši ukrep za izboljšanje prehodnosti odseka glavne struge tudi ob manjših pretokih, predlagamo ureditev prečnega profila struge na 240 m odseku glavne struge. V trenutnem stanju se manjši pretoki porazdelijo po skoraj celotni širini struge, če bi tok tekel samo po delu struge bi bila tudi globina vode primernejša. Jezbica je posamezni objekt ali skupina objektov, s katero na določenih mestih v vodotoku pospešimo naplavljanje dotekajočih plavin, kar vodi do oblikovanja in koncentracije struge na drugih mestih (Mikoš, 2000). Za ureditev prečnega profila struge za izboljšanje prehodnosti za vodne organizme ob manjših pretokih predlagamo izgradnjo serije jezbic ob levi (zunanji) brežini in poglobitev struge ob desni (notranji) brežini. S takim posegom se manjši pretok z večjo globino vode koncentrira na enem delu struge, hkrati pa s postavitvijo jezbic ob levi brežini izboljšamo stabilizacijo brežin ob večjih pretokih. Leva brežina na tem odseku je bila v preteklosti že večkrat poškodovana in sanirana (poglavje 3.2.2.6).

Jezbice so relativno poceni zgradbe, s katerimi na posameznih mestih v vodotoku povzročimo pospešeno naplavljanje plavin, kar posledično vodi v koncentracijo pretoka in oblikovanja struge na drugih mestih (Mikoš, 2000). Možne so različne razporeditve jezbic, gradijo pa se iz različnih materialov. V splošnem velja, da naj dolžina jezvice ne bi presegala ene četrte širine vodotoka in da jih v gradimo v sistemu na razdalji, ki je enaka 2 do 5 kratniku dolžine jezvice (IDNR, 2006).

Na odseku glavne struge Save Bohinjke je predlagana zasnova s postavitvijo 9 jezbic, ki so postavljene pravokotno na levo brežino. Zasnova je prikazana v prilogi A. Struga je na odseku široka od 30 do 40 m, glede na širino struge se spreminja tudi dolžina posamezne jezvice.

Dolvodno od jezu je najprej predvidena postavitve manjše jezbice (dolžina: 5 m, širina: 2 m), sledita dve večji jezbici (dolžina: 10 m, širina: 2m), v krivini, kjer se struga zoži, so predvidene 4 srednje jezbice (dolžina: 8,75 m, širina: 2m), na koncu pa sledita še dve manjši (dolžina: 5 m, širina: 2 m). Vse jezbice so postavljene na medsebojni razdalji 20 metrov, višina od dna do krone posamezne jezbice pa znaša 1,5 m. Jezbice naj bodo izvedene iz lesa in kamna, kot kaštne zgradbe (primer prikazan na slikah 45 in 46). Stabilizacijsko naj bodo ojačane z vertikalnimi piloti, horizontalne oblice pa vpete v brežino. Na mestu levega obrežnega zidu je predlagana izvedba tesnega stika med jezbico in zidom, jezbica pa je nosilna sama po sebi – z zabiti piloti in povezovalnimi oblicami. Na mestih, kjer brežina ni utrjena, pa je potrebno jezbico vpeti v raščen teren brežine in po potrebi brežino dodatno utrditi. Ob izgradnji jezbic je predvidena poglobitev desnega dela glavne struge, s tem že v začetnem stanju omogočimo večje globine vode pri manjših pretokih, z jezbicami pa je omogočeno, da se koncentracija pretoka na tem delu struge ohranja tudi kasneje. Obstaja nevarnost, da bi ob povečanem pretoku in usmerjanju toka v desni del struge prišlo do nekontroliranega poglobljanja tega dela struge in s tem destabilizacije desne brežine. V izogib tej nevarnosti je načrtovana izvedba talnih pragov ob vsaki drugi jezbici. Talni prag poteka prečno čez profil struge, od konca jezbice in do vpetja v desno brežino. Krona pragov je oblikovana tako, da se voda koncentrira v sredino, s tem dosežemo večje globine vode na mestu poglobljene struge.



Slika 45: Vgraditev leseno-kamnite jezbice in dodatna stabilizacija z vertikalnimi piloti (Zorič in Horvat, 2012)



Slika 46: Z večjimi kamni in lomljencem polnjena leseno-kamnita jezbica (Zakotnik, 2014)

Pred eventualno ureditvijo odseka glavne struge je potrebno pridobiti natančnejše hidrološke podatke (tudi iz strani upravljalca obstoječe HE Soteska), s tem je mogoče tudi umerjanje hidravličnega modela. V času izdelave magistrskega dela zadovoljivih podatkov za umerjanje modela ni bilo na voljo. Pred posegi na obravnavanem območju je potrebno narediti tudi detajlno geodetsko izmero območja in preveritev karakterističnih kot, privzetih iz projektne dokumentacije.

3.6.3.1 Ocena stroška investicije ureditve glavne struge

Ustrezna ureditev glavne struge ima poleg izgradnje ribjega prehoda pomemben vpliv na izboljšanje prehodnosti obravnavanega odseka. Za oceno celotnega stroška investicije

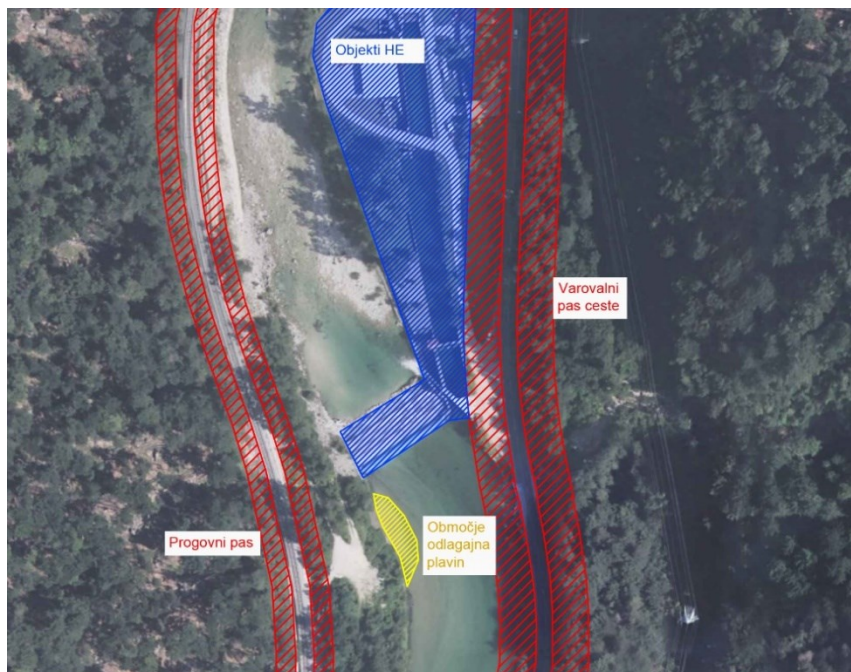
izboljšanja prehodnosti za vodne organizme na obravnavanem odseku je tako potrebo določiti tudi okvirni investicijski strošek ureditve glavne struge, ki znaša 111.900 EUR. Podrobnejši izračun je prikazan v prilogi B.

3.7 UMEŠČANJE RIBJEGA PREHODA V PROSTOR

Kot smo zapisali v poglavju 2.5.2 ima lokacija ribjega prehoda pomemben vpliv na zaznavnost in posledično učinkovitost ribjega prehoda.

S predlagano ureditvijo glavne struge pričakujemo, da se bo izboljšala prehodnost tega odseka, kar pomeni, da bodo do jezua lahko priplavali tudi predstavniki večjih ribjih vrst. Za delovanje ribjega prehoda bomo uporabili ves oziroma del pretoka Q_{es} , ki mora biti zagotovljen v celem odseku glavne struge, tudi tik pod jezom. Zaradi teh dveh razlogov je optimalna lokacija vhoda v ribji prehod dolvodno tik ob jezovni zgradbi. Pri izbiri lokacije/umeščanju ribjega prehoda v prostor je potrebno upoštevati prostorske omejitve ozke soteske, v kateri se nahaja HE Soteska, ki smo jih opisali v poglavju 3.2.4.

Na desni brežini ob jezovni zgradbi se nahaja vtok v dovodni kanal HE (sliki 31 in 34), izhod iz ribjega prehoda pa mora biti v primeru, da je le ta lociran na brežini, kjer je vtok v turbine, izveden na razdalji vsaj 5 m. V našem primeru te razdalje ni mogoče doseči, saj tik ob dovodnem kanalu poteka varovalni pas regionalne ceste Bled-Bohinj, v katerega gradnja ribjega prehoda ne sme posegati (slika 47). Prav tako se dolvodno na desnem bregu nahajajo objekti HE, ob katerih je zelo malo prostora za umestitev ribjega prehoda. Izgradnja ustreznega ribjega prehoda na desnem bregu Save Bohinjke tako ni mogoča.



Slika 47: Omejitve pri umeščanju ribjega prehoda v prostor: progovni pas, varovalni pas državne ceste, območje odlaganja plavin, objekti HE Soteska

Kot lahko vidimo iz slike 47, je na levem bregu ob jezovni zgradbi precej manj prostorskih omejitev. Dolvodno od jezu sicer železniška proga poteka tik ob brežini Save Bohinjke, vendar v ta prostor z gradnjo ribjega prehoda ne bi posegali, saj mora biti vhod lociran čim bližje jezovni zgradbi. Sava Bohinjka do jezu HE Soteska priteče v zavoju, matica toka teče ob zunanji strani (ob desni brežini), na notranji (ob levi brežini) pa prihaja do odlaganja plavin, kar je dobro vidno tudi iz digitalnega ortofoto (DOF) posnetka območja (slika 47). Območje odlaganja plavin je potrebno upoštevati pri določanju lokacije izhoda iz ribjega prehoda. V kolikor bi bil izhod lociran na območju največjega odlaganja plavin, lahko pride do pogoste zamašitve ribjega prehoda, kar lahko ogrozi učinkovitost delovanja ribjega prehoda in poveča strošek vzdrževanja.

Glede na zgornjo analizo umeščanja ribjega prehoda v prostor je optimalna lokacija izgradnje prehoda levi breg tik ob jezu HE Soteska.

3.7.1 Zaznavnost ribjega prehoda

Ustrezna zaznavnost vhoda ribjega prehoda je izjemno pomembna za njegovo učinkovito delovanje.

S predlagano ureditvijo glavne struge bi se izboljšala prehodnost glavne struge. Na podlagi te ureditve in analize umeščanja ribjega prehoda v prostor ter zaradi zagotavljanja ekološko sprejemljivega pretoka v glavni strugi, je bila kot optimalna lokacija vhoda ribjega prehoda prepoznana leva brežina tik pod jezom.

Kot smo ugotovili v hidrološki in hidravlični analizi območja, je pri normalnem obratovanju HE v povprečnem letu pretok v glavni strugi, na 240 m odseku, v večini leta (približno 7 mesecev na leto) enak $Q_{es} = 1,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Tako dobro tretjino leta edini atrakcijski tok pod jezom predstavlja Q_{es} . Ker se bo za delovanje ribjega prehoda uporabilo del ali celoten pretok Q_{es} , je talni izpust lahko zaprt in se ga nadaljnje uporablja samo za njegovo osnovno funkcijo, občasnemu plavljenju naplavin iz zajetja. Zaprtje talnega izpusta se predvideva tudi v primeru, da za delovanje ribjega prehoda ne potrebujemo celotnega pretoka Q_{es} , saj načrtujemo vhod v ribji prehod na levem bregu, morebiten izpust skozi talni izpust na desnem bregu pa bi na zaznavnost vplival negativno, ker bi deloval kot konkurenčni atrakcijski tok na nasprotni strani lokacije vhoda. Odvečen pretok (razlika do Q_{es} , ki se mora zagotavljati v glavni strugi), ki ga ne bi potrebovali za delovanje ribjega prehoda, pa se lahko vodi ob ribjem prehodu in se ga izpušča za povečanje atrakcije na mestu vhoda v prehod. Ob tem bi bilo mogoče »odvečni« pretok uporabiti tudi za proizvodnjo električne energije v mali hidroelektrarni (mHE) in iztok iz mHE urediti tako, da poveča atrakcijo na mestu vhoda v ribji prehod.

V obdobju, ko so pretoki Save Bohinjke večji od $20,1 \text{ m}^3/\text{s}$, se razlika v pretoku preliva čez vrečasti jez. V tem primeru je pretok čez jez večinoma bistveno večji od atrakcijskega toka ribjega prehoda. Tudi zaradi tega razloga in razlogov ugotovljenih v prejšnjih poglavjih, je potrebno, da je vhod v ribji prehod lociran tik ob jezu, v območju podslapja. Atrakcijski tok iz ribjega prehoda pa mora biti usmerjen vzporedno z glavnim tokom, tako da ribe v prehod prehajajo brez menjavanja smeri plavanja (slika 5).

Morebitno težavo pri zaznavi vhoda v ribji prehod predstavlja že iztok iz turbin HE, ki se nahaja 240 m dolvodno pod jezo in je vsaj v času manjših pretokov ($< 20,1 \text{ m}^3/\text{s}$) bistveno večji od pretoka, ki priteče po glavni strugi. Predvidevamo lahko, da bi z ustrezno predlagano ureditvijo glavne struge ribe v veliki meri našle pot po glavni strugi do vhoda v ribji prehod, saj bi pri iskanju gorvodne poti ob neprehodnem iztoku iz HE začele iskati alternativne gorvodne poti, zaznavnost pretoka iz glavne struge pa bi bila dovoljšna.

3.8 NAČRTOVANJE RIBJEGA PREHODA

3.8.1 Robni pogoji pri izbiri tipa ribjega prehoda

Na načrtovanje in izbiro tipa ribjega prehoda vplivajo ihtiološki dejavniki, ki smo jih določili v poglavju 3.5. ter omejitve v prostoru, opisane in upoštevane v poglavju 3.7. Poleg tega pa na izbiro vplivajo tudi lastnosti morfologije terena ob jezu in delovanje vrečastega jezu HE Soteska, ki so opisane v naslednjem poglavju.

3.8.1.1 Gladinska stanja

Robni pogoji delovanja ribjega prehoda so minimalna in maksimalna višinska razlika med zgornjo in spodnjo vodo, ki jo mora premeščati ribji prehod, ter višinska razlika nihanja zgornje in spodnje vode. Ko zagotovimo, da ribji prehod deluje ob teh robnih pogojih, le ta deluje tudi v času vmesnih višinskih razlik.

Jez ima danes vlogo odvzemnega objekta za delovanje HE Soteska. Kot smo zapisali v poglavju 3.2.2, jez sestavljata fiksni in fleksibilni del. Delovanje vrečastega jezu – fleksibilnega dela jezu, močno vpliva na nihanje zgornje gladine v zajetju za jezo in torej tudi na samo višinsko razliko, ki jo mora premeščati ribji prehod. Zasnova ribjega prehoda mora biti takšna, da bo ta deloval tako ob normalnem obratovanju HE Soteska kot tudi v skrajnih situacijah, kot sta na primer:

- Defekt povzroči daljšo nefunkcionalnost vreče (vreča ostane daljši čas izpraznjena pri različnih pretokih).
- HE neha delovati (poslovni razlogi, izpad elektrarne, pretek koncesije), fleksibilni del jezu se opusti, celoten pretok Save Bohinjke teče čez profil jezu.

Tako je pri analizi gladinskih stanj potrebno upoštevati normalno obratovanje in skrajno situacijo pri nefunkcionalni spuščeni vreči. Pri tem je potrebni omeniti, da ne upoštevamo enega skrajnega stanja – visoke vode, saj zasnove ribjega prehoda ne načrtujemo za delovanje v času visokih voda, ker v tem času ribe gorvodno praviloma ne migrirajo. Analizo gladinskih stanj smo opravili s pomočjo hidravličnega modela, ki smo ga vzpostavili za namen hidravlične analize pretočnih razmer na odseku glavne struge (poglavje 3.6.2). Pretoki, pri katerih smo analizirali gladinsko stanje, so prikazani v preglednici 30. Iz krivulje trajanja pretokov povprečnega srednjega dnevnega pretoka (grafikon 4) smo določili 5 pretokov z različnim letnim trajanjem. Poleg teh smo zraven vključili še najmanjši verjetni pretok Save Bohinjke ($Q_{\min}$) (določen v poglavju 3.6.2). Tako smo v analizo gladinskega stanja vključili vzorec reprezentativnih pretokov v okviru katerih mora ribji prehod delovati.

Preglednica 30: Vzorec reprezentativnih pretokov v okviru katerih mora delovati ribji prehod in pri katerih so bila analizirana gladinska stanja zgornje in spodnje vode ob jezu HE Soteska

Trajanje povprečnega srednjega dnevnega pretoka (sQs)	Pretok Save Bohinjke [m ³ /s]
1 mesec/leto	47
3 mes/leto	31
6 mes/leto	19
10 mes (300dni/leto)	9,3
12 mes/leto	5,2
Q_{min}	2

Značilnosti normalnega obratovanja:

- Ko so pretoki Save Bohinjke manjši od 20,1 m³/s (Q_{es} (1,1 m³/s) + $Q_{t_{max}}$ (19 m³/s)):
 - o HE obratuje tako, da z manevriranjem vrečastega jezu ohranja normalno obratovalno koto v zajetju za jezo, ki znaša 474,9 m n.v. 1,1 m³/s se porabi za delovanje ribjega prehoda in zagotavljanje atrakcije, ostali pretok pa za pogon turbin HE. Gladina spodnje vode pod jezo je konstantna.
- Ko so pretoki Save Bohinjke večji od 20,1 m³/s:
 - o HE obratuje tako, da z manevriranjem vrečastega jezu ohranja normalno obratovalno koto v zajetju za jezo. 1,1 m³/s se porabi za delovanje ribjega prehoda in zagotavljanje atrakcije, 19 m³/s za obratovanje HE, ostali pretok pa se preliva čez vrečasti jez in prelivno polje. Zgornja in spodnja gladina se višata. Vrečasti jez se popolnoma izprazni pri pretoku 230 m³/s (Blažeka, 1994).

Značilnosti skrajne situacije:

- Vrečasti jez je izprazen pri vseh pretokih. HE ne obratuje, voda ne teče v dovodni kanal. Koto preliva na jezu določa fiksni del jezu na koti 473,6 m n.v. Gladina zgornje in spodnje vode se spreminja sorazmerno z spreminjanjem pretoka Save Bohinjke.

Preglednica 31: Rezultati analize gladinskega stanja

	Pretok Save Bohinjke [m ³ /s]	Gladina zgornje vode [m n.v.]	Gladina spodnje vode [m n.v.]	ΔH [m]
Normalno obratovanje	< 20,1	474,9	469,9	5,0
	> 20,1	47	471,3	3,6
		31	470,8	4,1
Skrajna situacija- nefunkcionalna, spuščena vreča	47	474,3	471,3	3,0
	19	474,0	470,7	3,3
	2	473,7	470,1	3,6

Maksimalna višina nihanja spodnje vode: 471,3 – 469,9 = 1,4 m

Maksimalna višina nihanja zgornje vode: 474,9 – 473,7 = 1,2 m

Maksimalna višinska razlika med zgornjo in spodnjo vodo (h_{tot}): 474,9 – 469,9 = 5 m

Minimalna višinska razlika med zgornjo in spodnjo vodo: 474,3 – 471,3 = 3 m

Analiza gladinskih stanj je pokazala, da je za funkcionalno delovanje ribjega prehoda v čim daljšem obdobju leta ustrezna zasnova ribjega prehoda:

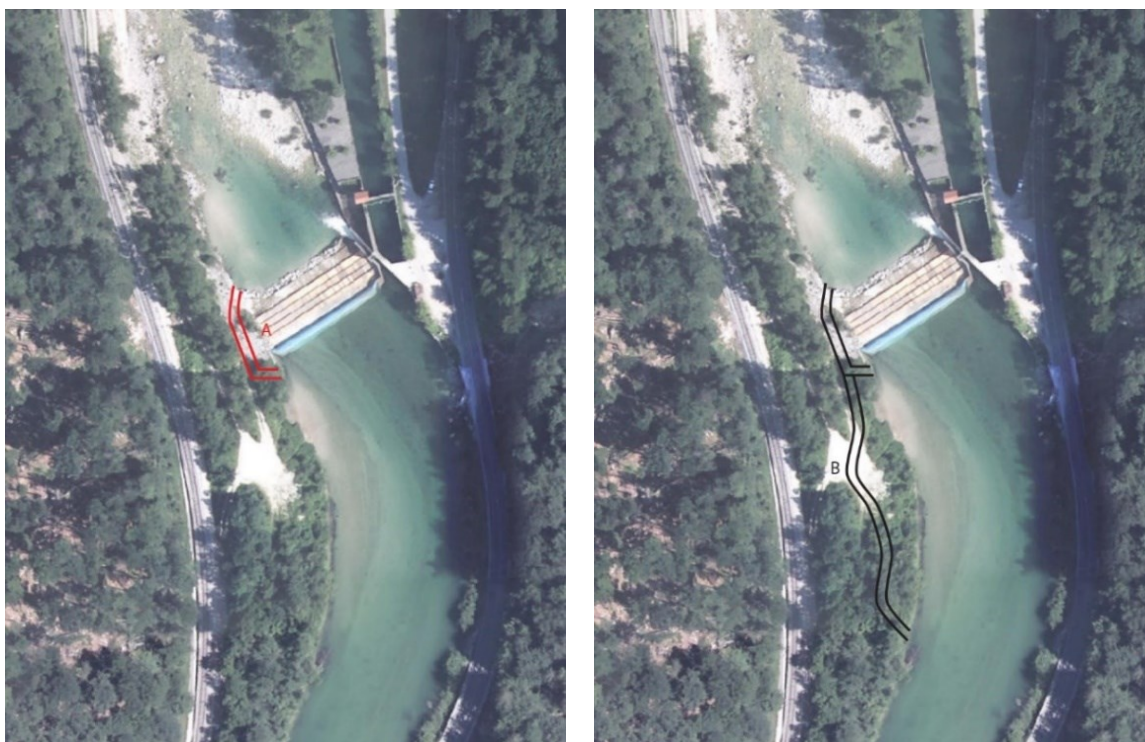
- ki deluje pri nihanju zgornje gladine v višini 1,2 m,

- pri katerem nihanje spodnje vode ne vpliva bistveno na prehodnost ribjega prehoda in
- ki ustrezno premešča višinsko razliko med zgornjo in spodnjo vodo $\Delta H = 5$ m.

3.8.2 Izbira najprimernejšega tipa ribjega prehoda

Tipi ribjih prehodov so navedeni in opisani v poglavju 2.6., kjer so izpostavljanje tudi pomembnejše lastnosti posameznega tipa. Na podlagi teh lastnosti, ihtioloških dejavnikov, hidrološke in hidravlične analize območja, omejitev v prostoru ter robnih pogojev gladinskega stanja smo za detajlno analizo izbrali dve varianti zasnove ribjega prehoda:

- A. Tehnični tip ribjega prehoda - **bazenski tip z vertikalnimi režami**. Značilnosti:
 - o krajša dolžina
 - o večji padec
 - o en izhod
- B. Kombinacija tehničnega in sonaravnega ribjega prehoda - **kombinacija bazenskega tipa z vertikalnimi režami in sonaravnega bazenskega tipa**, kjer bi spodnji del in večjo višinsko razliko premeščal tehnični tip ter se s srednjim krakom ribjega prehoda zaključil z izhodom na nižji koti (deloval bi v časi skrajne situacije), zgornji sonaravni del z manjšim naklonom pa bi vodil do drugega izhoda na višji koti in bi deloval v času normalnega obratovanja HE Soteska (ko je gladina vode v zajezbi enaka obratovalni gladini). Značilnosti:
 - o daljša dolžina
 - o potrebuje več prostora
 - o manjši padec posameznega dela ribjega prehoda (zlasti zgornjega dela)
 - o dva izhoda



Slika 48: Skici lokacijske umestitve dveh variant (rdeče- varianta A, črna – varianta B)

Varianta A je v celoti zasnovana kot tehnični tip, osnovo variante B pa ravno tako predstavlja tehnični tip ribjega prehoda. Ob jezu HE Soteska zaradi prostorskih omejitev ni mogoče v celoti

ustrezno umestiti kakšnega od tipov sonaravnih ribjih prehodov, ti so primernejši za zagotavljanje prehodnosti pri manjših višinskih razlikah z manjšimi nakloni. Ker je v primeru jezu HE Soteska potrebno upoštevati različna gladinska stanja in predvsem velika nihanja zgornje gladine na izhodu iz ribjega prehoda, so zato primernejši tehnični tipi. Po DVWK (2002) naj bi se pri razliki zgornje vodne gladine od 0,5 do 1 m v praksi kot učinkovit tip ribjega prehoda uveljavil bazenski tip z vertikalnimi režami. Kjer pa je razlika v gladinah večja od enega metra, naj bi bila za ohranitev funkcionalnosti prehoda priporočljiva izgradnja dveh ali več izhodov na različnih višinah.

V primeru zagotavljanja prehodnosti preko jezu HE Soteska znaša maksimalna višina nihanja zgornje vode **1,2 m**. Kar pomeni, da bi bila glede na literaturo najustreznejša zasnova bazenskega tipa z vertikalnimi režami z dvema izhodoma na različnih višinah. Ker gradnja dveh vtočnih objektov (izhodov) pomeni tudi podražitev investicije in zahteva več prostora, smo s hidravličnimi izračuni želeli preveriti ali bi bila pogojno ustrezna tudi zasnova ribjega prehoda z enim izhodom (varianta A).

3.8.3 Analiza variante A – bazenski tip z vertikalnimi režami

Hidravlični izračun je izveden po postopku prikazanem v poglavju 2.7. Dimenzije elementov ribjega prehoda so določene glede na največjo ribjo vrsto na obravnavanem območju, sulca. Ker tudi s predlagano ureditvijo odseka glavne struge ni mogoče z gotovostjo trditi, da bi bil ta odsek prehodni za največje sulce (dolžine 1,2 m), ribji prehod dimenzioniramo na sulca z dolžino telesa 1,0 m (preglednica 26). Na podlagi teh odločitev podajamo dimenzije elementov ribjega prehoda (prikazani na sliki 23), ki so določene glede na enačbe v preglednici 16 in priporočene vrednosti v preglednici 17:

- širina vertikalne reže: $s = 0,3 \text{ m}$
- širina bazena: $b = 1,8 \text{ m}$
- dolžina bazena: $L_b = 2,75 \text{ m}$
- dolžina usmerjevalnega elementa: $c = 0,4 \text{ m}$
- dolžina odprtine: $a = 0,14 \text{ m}$
- širina odbojnega elementa: $b_u = 0,4 \text{ m}$
- maksimalna razlika med gladinama sosednjih bazenov: $\Delta h = 0,2 \text{ m}$
- minimalna globina vode v bazenu $h_{\min} = 0,75 \text{ m}$

Predpostavimo, da se bo prečne stene gradilo iz betonskih elementov debeline (d) = 0,1 m. Maksimalna višinska razlika med zgornjo in spodnjo vodo: $h_{\text{tot}} = 474,9 - 469,9 = 5 \text{ m}$.

Število bazenov: $n = \frac{h_{\text{tot}}}{\Delta h} - 1 = \frac{5}{0,2} - 1 = 24$ (25 prečnih sten)

Celotna dolžina ribjega prehoda (h kateri štejemo tudi dva prekata z ravnim dnom na gorvodni in dolvodni stani prehoda, vsak dolžine 1 m): $l_{\text{tot}} = 24 \times (2,75 + 0,1 + 0,14) + 2 \times 1 = 73,76 \text{ m}$
Debelina grobega dna znaša 0,2 m (minimalna debelina glede na literaturo)

3.8.3.1 Hidravlični izračun pri najnižji gladini zgornje vode

Najprej hidravlične veličine izračunamo za primer, ko je kota zgornje vode najnižja. Takšno gladinsko stanje je v primeru skrajne situacije – nefunkcionalne, spuščene vreče, ko je pretok Save Bohinjke najmanjši ($2 \text{ m}^3/\text{s}$). Kote glavin iz preglednice 31:

- gladina zgornje vode [m n.v.] = 473,7

- gladina spodnje vode [m n.v.] = 470,1
- $\Delta H = 3,6$ m

Izračunamo razliko med gladinama sosednjih bazenov $\Delta h = 3,6/25 = 0,144$ m. Kota dna na vtoku, z upoštevanjem debeline grobega dna znaša:

$$z_{e,grobo\ dno} = 473,7 - (0,75 + 0,144) = 472,8\text{ m n. v.}$$

Kota temeljnega dna pa:

$$z_{e,dno} = 472,8 - 0,2 = 472,6\text{ m n. v.}$$

Ob takšnem gladinskem stanju so razlike med gladinami sosednjih bazenov in gladine vode v bazenih enake po celotnem ribjem prehodu. Maksimalna hitrost toka v reži posamezne prečne stene torej znaša:

$$v_{max} = \sqrt{2g\Delta h} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,144} = 1,68\text{ m/s},$$

kar je manjše od maksimalne dovoljene $v_{max} = 2$ m/s.

Vrednost μ_r določimo s pomočjo krivulje na sliki 27:

$$h_u = 0,75\text{ m}$$

$$h_0 = 0,75 + 0,144 = 0,9\text{ m}$$

$$h_u/h_0 = 0,83$$

$$\mu_r = 0,46$$

Pretok skozi ribji prehod:

$$Q = \frac{2}{3} \mu_r s \sqrt{2gh_0^{3/2}} = \frac{2}{3} \times 0,46 \times 0,3 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,9^{3/2}} = 0,35\text{ m}^3/\text{s}$$

Izračunamo še vrednost disipacije energije v posameznem bazenu:

$$E = \frac{\rho g Q \Delta h}{b h_m (L_b + a)} = \frac{1000 \times 9,81 \times 0,35 \times 0,144}{1,8 \times \frac{0,9 + 0,75}{2} \times (2,75 + 0,14)} = 115,2\text{ W/m}^3$$

Energijska disipacija je ustrezna, saj ne preseže mejne 150 do 200 W/m³.

3.8.3.2 Hidravlični izračun pri najvišji gladini zgornje vode

Hidravlične veličine izračunamo za drugo skrajno gladinsko stanje – primer, ko je kota zgornje vode najvišja. Do takšne gladine zgornje vode pride v primeru normalnega obratovanja, hkrati je ΔH najvišja v času, ko je pretok Save Bohinjke manjši od 20,1 m³/s. Kote gladin iz preglednice 31:

- gladina zgornje vode [m n.v.] = 474,9
- gladina spodnje vode [m n.v.] = 469,9
- $\Delta H = 5$ m

Ob takšnem gladinskem stanju se v ribjem prehodu pojavijo različne globine vode, različne hitrosti in razlike med gladinami sosednjih bazenov, zaradi tega je hidravlični izračun potrebno opraviti z iteracijo po postopku opisanem v poglavju 2.7.4. Koto grobega dna na izhodnem delu ribjega prehoda določa izračun pri najnižji gladini zgornje vode in znaša 472,8 m n.v. Gladina spodnje vode je pri obravnavanem gladinskem stanju nižja kot v gladinskem stanju pri najnižji gladini zgornje vode.

Celotna preglednica z rezultati hidravličnega izračuna je prikazana v prilogi C. Iz preglednice v prilogi je vidno, da razlika med gladinama sosednjih bazenov (Δh) narašča dolvodno ter

močno naraste ob zadnjih dveh prečnih stenah. Razlika je večja od maksimalne priporočljive (0,2 m) že ob 20 prečni steni in je najvišja ob zadnjih dveh prečnih stenah na vhodu v ribjih prehod. Sorazmerno z razliko med gladinama narašča tudi hitrost pretoka v režah prečnih sten. Tudi ta preseže mejne maksimalne priporočljive vrednosti ob 20 prečni steni in dolvodno naraste vse do 4,1 m/s. Ti rezultati kažejo na to, da bi bil ribji prehod na vhodu popolnoma neprehoden, verjetno tudi za najboljše plavalce. Zaradi velike razlik gladin zgornje vode, ki bi jih pri svojem delovanju moral obvladovati ribji prehod, bi bile potrebne tudi precejšnje višine prečnih sten (povprečne višine tudi nad 2 m), kar pomeni podražitev izgradnje takšne zasnove ribjega prehoda.

Po predvidevanju tudi izračun disipacije energije v zadnjem dolvodnem (24) bazenu kaže na to, da je takšna zasnova skrajno neprimerna, saj znaša energijska disipacija v tem bazenu kar 1461 W/m^3 , maksimalne priporočljive vrednosti pa znašajo od 150 do 200 W/m^3 . Disipacija energije je največja tam, kjer je največja razlika med gladinama sosednjih bazenov, zato za analizo zadošča izračun v bazenu, kjer se ta razlika pojavi.

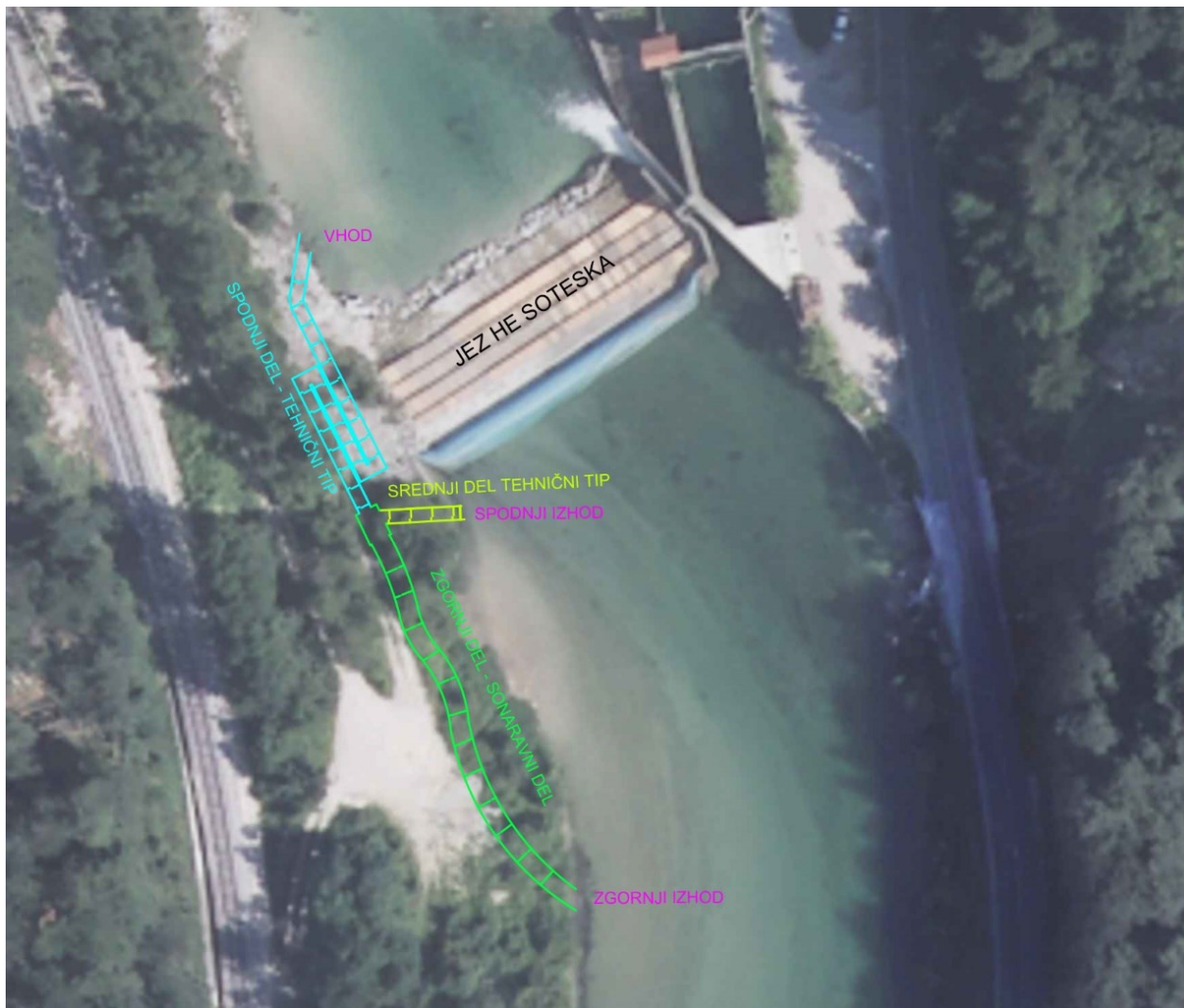
Zasnova takšnega ribjega prehoda tako ne omogoča primerne obratovanja in prehodnosti v času najvišjih gladin zgornje vode. Ob predpostavki normalnega obratovanja HE je takšno gladinsko stanje na jezu HE Soteska v povprečnem letu v večini leta (7 mesecev), kar pomeni, da večino časa tak prehod ne bi omogočal prehodnosti vodnim organizmom. Zasnova ribjega prehoda z enim izhodom tako ni ustrezna. Na izboljšanje hidravličnih lastnosti ne bi vplivala niti izbira drugačnega tipa ribjega prehoda, saj velja bazenski tip z vertikalnimi režami za najprimernejši tip prehoda, ki do neke mere še lahko kompenzira visoka nihanja gladin zgornje vode. Varianta A tako ni ustrezna.

3.8.4 Analiza in idejna zasnova variante B – kombinacija bazenskega tipa z vertikalnimi režami in sonaravnega bazenskega tipa

Maksimalno višinsko razliko med zgornjo in spodnjo vodo na jezu HE Soteska ($\Delta H = 5 \text{ m}$) pri tej varianti premeščajo različni tipi ribjega prehoda, ki so razdeljeni na posamezne dele:

- **Spodnji tehnični bazenski tip z vertikalnimi režami** mora zagotavljati prehodnost pri maksimalni višinski razliki $\Delta H_1 = 3,8 \text{ m}$. Minimalna kota spodnje vode je 469,9 m n.v., le ta naraste, ko se pretok Save Bohinjke pri normalnem obratovanju HE poveča nad maksimalnim obratovalnim pretokom HE (preglednica 31). Kota zgornje vode je stalna in znaša 473,7 m n.v. Ta del ribjega prehoda mora delovati ob vseh gladinskih stanjih na jezu HE Soteska.
- **Srednji del ribjega prehoda** predstavlja kratek **krak bazenskega tipa z vertikalnimi režami**, ki poteka od srednjega bazena do spodnjega izhoda iz ribjega prehoda, ki je lociran nekaj metrov gorvodno od krone jezu. Srednji del ribjega prehoda bi deloval samo v primeru skrajne situacije, ko je vrečasti jez spuščen in ko se gladina zgornje vode spreminja sorazmerno s pretokom Save Bohinjke, saj koto preliva določa fiksni del jezu. Glede na analizo gladinskih stanj (poglavje 3.8.1) mora ta del prehoda delovati pri gladinah zgornje vode od 473,7 m n.v. do 474,3 m n.v. Kota spodnje vode (v umirjevalnem bazenu) je konstantna in je na višini 473,7 m n.v. Ribji prehod mora premeščati maksimalno $\Delta H_2 = 0,6 \text{ m}$. V času delovanja srednjega dela ribjega prehoda zgornji del ribjega prehoda ni prehodan.

- **Zgornji sonaravni bazenski tip** poteka od srednjega bazena, kjer se združijo različni deli prehoda (spodnja kota vode: 473,7 m n.v.) in do zgornjega izhoda višje gorvodno v akumulaciji HE. Zgornji del ribjega prehoda deluje v času normalnega obratovanja HE Soteska, v času ko je zgornja voda konstantna na koti 474,9 m n.v. Tako mora zgornji del ribjega prehoda premeščati maksimalno višinsko razliko $\Delta H_3 = 1,2$ m.



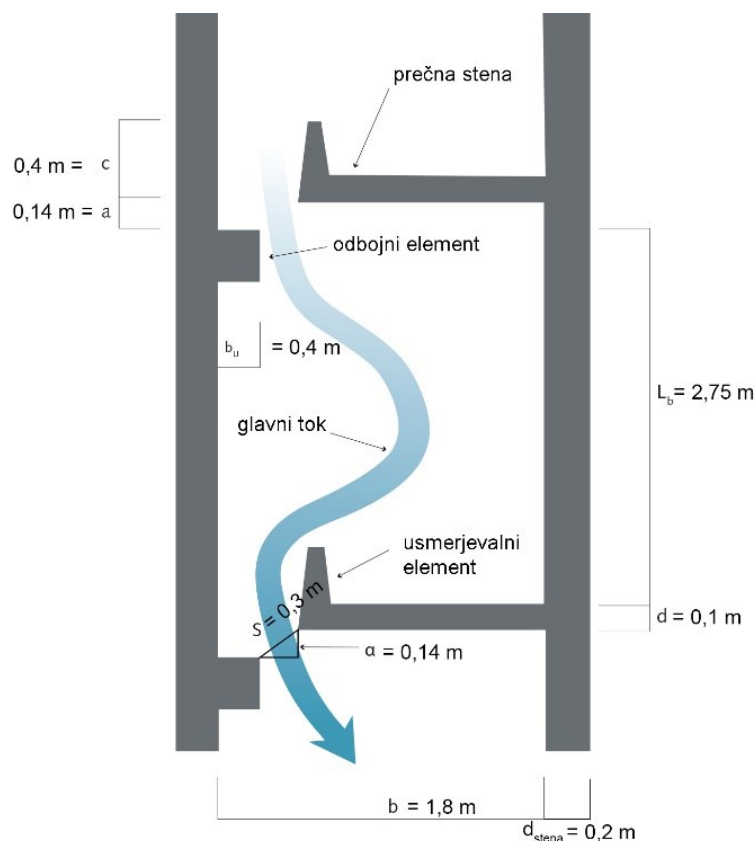
Slika 49: Tloris zasnove ribjega prehoda variante B

3.8.4.1 Spodnji del – bazenski tip z vertikalnimi režami

Tako kot pri varianti A tudi tu osnovne dimenzije elementov ribjega prehoda določa ihtiološki dejavnik – največja ribja vrsta na obravnavanem območju (sulec) in so določene na način kot je zapisano v prvem odstavku poglavja 3.8.3. Dimenzije osnovnih elementov (prikazane tudi na sliki 49):

- širina vertikalne reže: $s = 0,3$ m
- širina bazena: $b = 1,8$ m
- dolžina bazena: $L_b = 2,75$ m
- dolžina usmerjevalnega elementa: $c = 0,4$ m
- dolžina odprtine: $a = 0,14$ m

- širina odbojnega elementa: $b_u = 0,4 \text{ m}$
- maksimalna razlika med gladinama sosednjih bazenov: $\Delta h = 0,2 \text{ m}$
- minimalna globina vode v bazenu $h_{\min} = 0,75 \text{ m}$
- prečne stene grajene betonskih elementov debeline $d = 0,1 \text{ m}$



Slika 50: Dimenzije elementov spodnjega dela ribjega prehoda – bazenskega tipa z vertikalnimi režami

Maksimalna višinska razlika med zgornjo in spodnjo vodo: $h_{\text{tot}} = 473,7 - 469,9 = 3,8 \text{ m}$.

Število bazenov: $n = \frac{h_{\text{tot}}}{\Delta h} - 1 = 21$ (22 prečnih sten)

Celotna dolžina ribjega prehoda (h kateri štejemo tudi dva prekata z ravnim dnom na gorvodni in dolvodni stani prehoda, vsak dolžine 1 m): $l_{\text{tot}} = 24 \times 2,75 + 2 \times 1 = 64,79 \text{ m}$

Debelina grobega dna znaša 0,2 m.

V spodnji preglednici podajamo rezultate hidravličnega izračuna (postopek izračuna je enak izračunu v poglavju 3.8.3.1). Za pridobitev ugodnejših hidravličnih pogojev smo za razliko med gladinama sosednjih bazenov določili $\Delta h = 0,17 \text{ m}$.

Preglednica 32: Rezultati hidravličnega izračuna spodnjega dela ribjega prehoda – bazenskega tipa z vertikalnimi režami

razlika med zgornjo in spodnjo vodo sosednjih bazenov	Δh [m]	0,17
št. bazenov	n	21,00
št. prečnih sten		22,00
višina prečne stene	h_{stena} [m]	1,30
višina zunanjih sten	$h_{z.stena}$ [m]	1,50
celotna dolžina prehoda	l_{tot} [m]	64,79
kota grobega dna na izhodu (v srednjem bazenu)	$z_{e, grobo\ dno}$ [m n.v.]	472,77
kota dna na izhodu (v srednjem bazenu)	$z_{e, dno}$ [m n.v.]	472,57
maksimalna hitrost vode v prehodu	v_{max} [m/s]	1,84
minimalna globina vode v bazenu (tik dolvodno pod prečno steno)	h_u [m]	0,75
globina vode tik gorvodno pred prečno steno	h_o [m]	0,93
razmerje globin	h_u/h_o	0,81
pretočni koeficient	μ_r	0,48
pretok v ribjem prehodu	Q [m ³ /s]	0,40
disipacija energije v posameznem bazenu	E [W/m ³]	154,7

Maksimalna hitrost pretoka v ribjem prehodu znaša 1,84 m/s in je manjša od priporočljive mejne vrednosti 2 m/s. Količina energijske disipacije v posameznem bazenu (E) je ustrezna, saj se ne preseže zgornje mejne vrednosti 200 W/m³. Potreben pretok za optimalno delovanje tega dela ribjega prehoda znaša 0,40 m³/s. Na to vrednost prehoda dimenzioniramo tudi preostala zgornja dela ribjega prehoda.

Grobo dno ribjega prehoda debeline 0,2 m uredimo na način, ki je prikazan na sliki 12. Na ta način zagotovimo manjše hitrosti toka ob dnu in omogočimo prehajanje tudi šibkejšim ribam in vodnim nevretenčarjem (poglavje 2.5.6). Na vhodu v ribji prehod je potrebno dno iz ribjega prehoda povezati z dnom rečne struge, načrtovana je zasnova v obliki rampe. Na izhodu pa je dno povezano z grobim dnom srednjega umirjevalnega bazena. Karakteristični prerezi spodnjega dela ribjega prehoda so prikazani v prilogi D.

3.8.4.2 Srednji del – bazenski tip z vertikalnimi režami s spodnjim izhodom

Srednji del ribjega prehoda predstavlja kratek krak bazenskega tipa z vertikalnimi režami, ki poteka od srednjega bazena do spodnjega izhoda iz ribjega prehoda, ki je lociran nekaj metrov gorvodno od krone jezu. Glede na analizo gladinskih stanj (poglavje 3.8.1) mora ta del prehoda delovati pri gladinah zgornje vode od 474,3 m n.v. do 473,7 m n.v. Kota spodnje vode (v umirjevalnem bazenu) je konstantna in je na višini 473,7 m n.v. Ribji prehod mora premeščati maksimalno $\Delta H_2 = 0,6$ m. Ko je gladina vode v zajezi enaka 437,7 m n.v., v srednjem delu prehoda tako ni višinskih razlik med gladinami v posameznih bazenih.

Dimenzije bazenov srednjega dela so enake spodnjemu delu. Prehod je dimenzioniran na pretok $Q = 0,40$ m³/s. Rezultat hidravličnega izračuna je prikazan v spodnji preglednici. Celotni vzdolžni prerez zgornjega dela ribjega prehoda je prikazan v prilogi E.

Preglednica 33: Rezultati hidravličnega izračuna srednjega dela ribjega prehoda – bazenskega tipa z vertikalnimi režami

razlika med zgornjo in spodnjo vodo sosednjih bazenov	Δh [m]	0,15
št. bazenov	n	3,0
št. prečnih sten		4,0
višina prečne stene	$h_{p.stena}$ [m]	1,75
višina zunanjih sten	$h_{z.stena}$ [m]	1,85
celotna dolžina prehoda	l_{tot} [m]	10,97
kota grobega dna na izhodu	$z_{e, grobo\ dno}$ [m n.v.]	472,77
kota dna na izhodu	$z_{e, dno}$ [m n.v.]	472,57
maksimalna hitrost vode v prehodu	v_{max} [m/s]	1,72
minimalna globina vode v bazenu (tik dolvodno pod prečno steno)	h_u [m]	0,75
globina vode tik gorvodno pred prečno steno	h_o [m]	0,93
razmerje globin	h_u/h_o	0,81
pretočni koeficient	μ_r	0,48
pretok v ribjem prehodu	Q [m ³ /s]	0,40
disipacija energije v posameznem bazenu	E [W/m ³]	129,3

Maksimalna hitrost pretoka v ribjem prehodu znaša 1,88 m/s in je manjša od priporočljive mejne vrednosti 2 m/s. Energijska disipacija v posameznem bazenu (E) je ustrezna, saj se ne preseže zgornje mejne vrednosti 200 W/m³.

Na izhodu iz srednjega dela ribjega prehoda je potrebno namestiti tablasto zapornico. V času normalnega obratovanja HE Soteska, ko je gladinsko stanje na jezu takšno, da deluje zgornji del ribjega prehoda, je tablasta zapornica zaprta in v tem delu prehoda ni pretoka. Ko se gladina v jezu spusti na koto 474,3 m n.v. (v času izredne situacije na jezu) se tablasta zapornica dvigne in skozi prehod začne spuščati pretok $Q = 0,40$ m³/s. Srednji del ribjega prehoda mora delovati tudi v času ko se gladina zgornje vode spusti na najnižjo gladino 473,7 m n.v., zato je potrebna poglobitev dna na izhodu in v samem ribjem prehodu. Ko je gladina za jezo na najnižji koti, je gladina v tem delu ribjega prehoda konstanta in enaka koti 473,7 m n.v., kar je tudi gladina zgornje vode spodnjega dela ribjega prehoda. V takšni situaciji vso višinsko razliko med zgornjo in spodnjo vodo na jezu premešča spodnji del ribjega prehoda.

Situacijsko se izhod iz srednjega dela prehoda nahaja tik nad delom akumulacije v katerem prihaja do pogostega odlaganja plavin. Na izhodu je vseeno potrebno za zaščito vtoka plavja namestiti jekleni deflektor (slika 10). V kolikor bi se po monitoringu delovanja ribjega prehoda izkazalo, da se srednji izhod ribjega prehoda (oziroma cel prehod) pogosto zamaši s plavinami, je potrebno načrtovati dodatne zaščite pred vtokom plavja (npr. izgradnja jezbičice pred vtokom), pri tem pa je potrebno paziti, da ne povzročimo težav na vtoku v HE Soteska na sosednji brežini.

3.8.4.3 Zgornji del – sonaravni bazenski tip z zgornjim izhodom

Zgornji del ribjega prehoda mora v času normalnega obratovanja HE Soteska in normalne kote gladine v akumulaciji premeščati višinsko razliko med gladino vode v srednjem bazenu (473,7 m n.v.) in gladino vode v akumulaciji (474,9 m n.v.), ki znaša $\Delta H_3 = 1,2$ m. Pri zasnovi zgornjega

dela ribjega prehoda moramo zlasti pri izbiri lokacije izhoda iz ribjega prehoda upoštevati območje pogostega odlaganja plavin (slika 47). Po terenskem ogledu in digitalnih ortofoto posnetkov območja smo ugotovili, da mora biti izhod iz zgornjega dela ribjega prehoda lociran vsaj cca. 50 m gorvodno od jezu. Izgradnja tehničnega tipa ribjega prehoda za premeščanje tako majhne višinske razlike na taki daljši dolžini ni smiselna niti primerna. Primernejša je umestitev sonaravnega tipa ribjega prehoda. Tako smo zgornji del ribjega prehoda zasnovali v obliki sonaravnega bazenskega tipa, katerega osnovne značilnosti so zapisane v poglavju 2.6.3.



Slika 51: Primer izvedbe sonaravnega bazenskega tipa (Seifert, 2012)

Ker ta del ribjega prehoda premešča relativno majhno višinsko razliko na daljši razdalji, lahko načrtujemo manjše višinske razlike med gladinama sosednjih bazenov, izbrana je bila vrednost $\Delta h = 0,1$ m. Pretok, ki ga mora ribji prehod ob normalnem delovanju prevajati, znaša $Q = 0,40$ m³/s. Za gradnike prečnih sten med bazeni smo izbrali skale debeline $d_s = 0,7$ m. Med skalami v prečni steni mora biti razmak (b_s) širok vsaj 0,3 m. V razmaku v dno vgradimo skale debeline $d_s = 0,4$ m tako, da pol skale (0,2 m) gleda ven iz dna, s tem lažje zagotovimo večjo globino vode v posameznih bazenih. Minimalna globina vode v bazenu znaša 0,8 m (pogoj glede na sulca). Dolžina posameznega bazena znaša $L_b = 5$ m. Naklon zgornjega dela ribjega prehoda tako znaša:

$$I = \frac{\Delta h}{L_b} = \frac{0,1}{5} = 1:50 = 2 \%$$

Maksimalna hitrost vode v prehodu znaša:

$$v_{max} = \sqrt{2g\Delta h} = 1,4 \text{ m/s},$$

kar je manj od maksimalne priporočljive (2 m/s).

Hidravlični parametri toka vode skozi razmik v prečni steni so podobnih karakteristik kot pri toku čez ostrorobi preliv, kjer moramo upoštevati dva različna primera: popolni preliv (ni vpliva spodnje vode) in nepopolni preliv (vpliv spodnje vode). Mejo med njima določa razmerje zgornje (h_{zg}) in spodnje (h_{sp}) gladine: h_{sp}/h_{zg} . Pri enačbi za izračun pretoka tako upoštevamo še koeficient potopitve (σ):

$$Q = \frac{2}{3} \mu \sigma b_s \sqrt{2g} h_{zg}^{3/2} \quad (8)$$

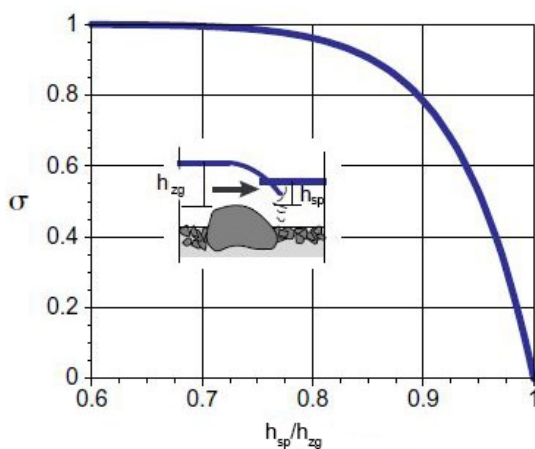
μ - prelivni koeficient

$\mu = 0,5$ do $0,6$ za skale z ostrimi robovi, lomljence (DVWK, 2002)

$\mu = 0,6$ do $0,8$ za zaobljene skale (DVWK, 2002)

b_s - širina razmika med skalami

σ - koeficient potopitve, ki se določi glede na razmerje h_{sp}/h_{zg} (grafikon 7).



Grafikon 7: Koeficient potopitve σ

Prehod dimenzioniramo na pretok $Q = 0,40 \text{ m}^3/\text{s}$. Rezultati hidravličnega izračuna so prikazani v preglednici 34.

Preglednica 34: Rezultati hidravličnega izračuna zgornjega dela ribjega prehoda – sonaravnega bazenskega tipa

št. bazenov	n	11
št. prečnih sten		12
naklon ribjega prehoda	l	0,02
kota grobega dna na izhodu	$z_{e, \text{grobno dno}} [\text{m n.v.}]$	474,00
kota dna na izhodu	$z_{e, \text{dno}} [\text{m n.v.}]$	473,80
maksimalna hitrost vode v prehodu	$v_{\text{max}} [\text{m/s}]$	1,40
minimalna globina vode v bazenu (tik dolvodno pod prečno steno)	$h_u [\text{m}]$	0,8
globina vode tik gorvodno pred prečno steno	$h_0 [\text{m}]$	0,90
	$h_{zg} [\text{m}]$	0,70
	$h_{sp} [\text{m}]$	0,60
	h_{sp}/h_{zg}	0,857
koeficient potopitve	σ	0,9
prelivni koeficient	μ	0,5
širina razmaka med skalami v prečni steni	$b_s [\text{m}]$	0,36
širina bazena na dnu	$b_{\text{dno}} [\text{m}]$	1,5
širina utrjenih brežin	$b_{\text{brežine}} [\text{m}]$	3,30
celotna dolžina zgornjega prehoda	$L_{\text{tot}} [\text{m}]$	57
disipacija energije v posameznem bazenu	$E [\text{W/m}^3]$	34,4

Z izračunom smo določili preostale dimenzije bazenov ribjega prehoda. Preverjena je bila tudi energijska disipacija v posameznem bazenu. Po pričakovanjih je ta zaradi dolžine ribjega

prehoda relativno velikih bazenov in majhne razlike med gladinami posameznih bazenov majhna ($34,4 \text{ W/m}^3$) in več kot ustreza omejitvi 150 do 200 W/m^3 . Hitrost pretoka je še vedno dovolj velika, da omogoča več kot zadovoljivo atrakcijo pretoka v samem ribjem prehodu. Karakteristični prečni in vzdolžni prerez zasnove sonaravnega bazenskega tipa ribjega prehoda sta prikazana v prilogi F. Pri tej izvedbi ribjega prehoda je pomembno, da so odprtine v posameznih prečnih stenah v tlorisu zamaknjene ena na drugo (slika 21). Kot pri ostalih delih ribjega prehoda mora dno sestavljati grob material v minimalni višini $0,2 \text{ m}$. Izhod iz ribjega prehoda je potrebno zgraditi iz betonskih elementov, saj tako lažje zagotovimo ustrezne hidravlične pogoje za vtok načrtovanega obratovalnega pretoka v ribjem pretoku. Na betonskem elementu je potrebno namestiti tudi jeklene nosilce oziroma predvideti reže, ki v času vzdrževanja in monitoringa omogočajo namestitvev ribjih pasti oziroma začasne tablaste zapornice.

Pri sonaravnem tipu je za razliko od tehničnih tipov večja možnost, da ta kljub detajlnim izračunom pred izgradnjo, po sami izgradnji ne bi deloval optimalno, saj je veliko spremenljivk ki vplivajo na pretočne karakteristike prehoda (skale različnih velikosti in oblik, postavitve skal,...). Zato je zelo pomembno, da že pri sami izgradnji prehoda izvajamo meritve, spremljamo delovanje ribjega prehoda in po potrebi spreminjamo postavitve skal in odprtin v prečnih stenah ali tudi same dimenzije posameznih bazenov. V kolikor tega ne storimo in nepravilno delovanje in slabo prehodnost odkrijemo po izgradnji, je strošek rekonstrukcije veliko večji od stroškov meritev in rekonstrukcije med samo gradnjo.

3.9 MONITORING DELOVANJA RIBJEGA PREHODA

Učinkovitost delovanja ribjega prehoda lahko ocenimo šele po izvedbi ustreznega monitoringa. Še zlasti je to pomembno pri zasnovah, ki so drugačne od enostavnih klasičnih izvedb, kot je to tudi v primeru zasnove ribjega prehoda ob jezu HE Soteska, kjer ribji prehod sestavljajo različni tipi in kjer mora le ta učinkovito delovati pri različnih gladinskih stanjih na vhodu in predvsem izhodu iz ribjega prehoda.

Učinkovitost delovanja ribjega prehoda ob jezu HE Soteska je v veliki meri odvisna tudi od ustrezne prehodnosti dolvodnega odseka glavne struge. Brez uspešne ureditve tega odseka obstaja verjetnost, da večje ribe ob manjših pretoki v glavni strugi ne bi mogle niti priplavati do vhoda v ribji prehod, kaj šele da bi ga lahko uspešno prehajale. Po izvedeni ureditvi opisani v poglavju 3.6.3 se pričakuje, da bo ta problematika rešena. V kolikor bi bila po monitoringu delovanja ribjega prehoda in odseka glavne struge zaznana težava z zagotavljanjem atrakcije zaradi konkurenčnega iztoka iz HE Soteska, bi bil eden od možnih ukrepov namestitvev rešetak na zaključku iztočnega kanala HE. S tem bi preprečili, da bi ribe zaplavale v iztočni kanal in namesto tega sledile toku, ki priteče iz glavne struge. Pri načrtovanju tega ukrepa je potrebno analizirati morebiten negativen vpliv postavitve takih rešetak na obratovanje HE.

Prvi del vrednotenja učinkovitosti delovanja ribjega prehoda je mogoče izvesti na podlagi posrednih parametrov, kjer z meritvami hidravličnih parametrov (hitrosti, pretoka, gladin,...) in njihovo primerjavo s priporočljivimi in mejnimi vrednostmi (opisane v poglavju 2.5.5) lahko ocenimo ustreznost pretočnih karakteristik v pretoku. Ali vse ribje vrste uspešno prehajajo ribji prehod pa je mogoče oceniti šele na podlagi ihtioloških meritev. Za izvajanje ihtiološkega monitoringa ribjega prehoda ob HE Soteska predlagamo uporabo ribjih pasti. Monitoring

delovanja prehoda se mora izvajati na obeh izhodih (spodnjem in zgornjem) po možnosti v času različnih gladin zgornje in spodnje vode. Poleg tega je potrebno ločeno od teh meritev v istih časovnih obdobjih izvajati tudi meritve na izhodu iz prvega tehničnega dela prehoda. Tako lahko ocenimo delovanje celotnega prehoda in posameznih delov. Za lažje izvajanje meritev se še pri načrtovanju prehoda upošteva mesta, kjer bodo ribje pasti postavljene. Na teh mestih se namesti jeklene nosilce ali predvidi reže, kamor se potem v času meritev namestijo ribje pasti. Pasti morajo ustrezati dimenzijam bazenov.

Za kvalitetno vrednotenje rezultatov meritev v času delovanja ribjega prehoda pa je pomembno, da del monitoringa na obravnavanem odseku izvedemo že v času pred začetkom gradnje. Pomemben je podatek o dejanskem stanju ribje populacije na območju pred posegom. Priporočljivo je, da se monitoring po izgradnji ribjega prehoda in ureditvi glavnega odseka struge začne izvajati po enem letu od posega, saj naj bi po tem času ekosistem kompenziral večino nastalih negativnih posledic med gradnjo. Zaželeno je, da se potem monitoring izvaja skozi celotno eno leto, v kolikor to ni mogoče, je pomembno, da se izvaja vsaj v času drstitev pomembnejših ribjih vrst (obdobja prikazana na sliki 43).

3.10 VZDRŽEVANJE RIBJEGA PREHODA

Celotna ureditev prehodnosti za vodne organizme na odseku jezu HE Soteska je načrtovana z ozirom na to, da je za ohranjanje dobre prehodnosti po izgradnji objektov potrebno čim redkejšo vzdrževanje.

Ker pa je Sava Bohinjka zlasti v času visokih voda in zaradi vpliva hudournikov na njenem porečju zelo prodonosna reka, se za jezom HE Soteska odlaga precej plavin (vsaj glede na terenski ogled in ogled digitalnih ortofoto posnetkov). V prid zaščiti pred vtokom plavin v ribji prehod ne gre tudi sama lokacija ribjega prehoda. Zaradi prostorskih omejitev na desnem bregu in zaradi drugih dejavnikov, ki vplivajo na boljšo učinkovitost ribjega prehoda, je bil le ta umeščen na levi breg Save Bohinjke, na notranji strani krivine poteka struge, kjer prihaja do pogostejšega odlaganja plavin. To je bilo upoštevano pri detajlni umestitvi izhodov iz ribjega prehoda, vseeno pa je mogoče, da bo zaradi plavin potrebnejše pogostejše izvajanje vzdrževanja, predvsem v smislu čiščenja.

3.11 IZRABA DODATNEGA ATRAKCIJSKEGA TOKA ZA DELOVANJE MALE HIDROELEKTRARNE

Ker za delovanje ribjega prehoda ne potrebujemo celotnega pretoka, ki nam je na voljo in ki se mora zagotavljati v dolovodnem odseku glavne struge pod jezo (ekološko sprejemljivi pretok), se je pokazala možnost, da bi se poleg tega, da se »odvečni« pretok uporabi za povečanje atrakcije na vhodu v ribji prehod, ta uporabil tudi za delovanje male hidroelektrarne (v nadaljevanju mHE).

mHE mora biti zasnovana tako, da s svojim delovanjem ne vpliva negativno na delovanje ribjega prehoda in varnost vodnih organizmov pri prehajanju odseka HE Soteska. V nadaljevanju smo analizirali ali bi lahko z proizvodnjo dodatne električne energije v mHE lahko v nekaj letih pokrili del stroškov ureditve prehodnosti za vodne organizme na odseku jezu HE Soteska in samo investicijo izgradnje mHE.

Za pogon turbine mHE je na voljo konstanten pretok (Q_{mhe}), ki predstavlja razliko med ekološko sprejemljivim pretokom in pretokom potrebnim za delovanje ribjega prehoda:

- Ekološko sprejemljivi pretok: $Q_{es}=1,1 \text{ m}^3/\text{s}$
- Potreben pretok za delovanje ribjega prehoda: $Q_r = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$
- Konstanten pretok vode, na voljo za delovanje mHE: $Q_{mhe} = 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$

Ob normalnem obratovanju HE Soteska in ko pretoki Save Bohinjke niso visoki je gladinsko stanje na jezu takšno, da znaša višinska razlika med zgornjo in spodnjo vodo $\Delta H = 5 \text{ m}$ (preglednica 35). V času ko sta izpolnjena zgornja pogoja je omogočena tudi konstantnost pretoka za delovanje mHE.

Preglednica 35: Osnovni podatki za delovanje mHE ob normalnih razmerah (normalno obratovanje HE Soteska, pretoki Save Bohinjke niso visoki)

Način obratovanja	Q_{mhe} [m ³ /s]	Gladina zgornje vode [m n.v.]	Gladina spodnje vode [m n.v.]	ΔH [m]
normalno	0,7	474,9	469,9	5

Pri zasnovi objektov mHE moramo upoštevati tudi gladinsko stanje ob izredno visokih vodah, zato da lahko objekte in elemente zaščitimo pred negativnim vplivom teh voda. V spodnji preglednici je prikazano, kakšne so gladine zgornje in spodnje vode na jezu v primeru pretoka s 100 letno povratno dobo (Q_{100}). Ob takšnem pretoku je vrečasti jez popolnoma spuščen, HE Soteska in mHE pa ne obratujeta.

Preglednica 36: Gladinsko stanje ob pretoku Save Bohinjke Q_{100} na jezu

Način obratovanja	Q_{100} [m ³ /s]	Q_{mhe} [m ³ /s]	Gladina zgornje vode [m n.v.]	Gladina spodnje vode [m n.v.]
Ne obratuje	586	0	476,8	474,7

Kot lahko vidimo iz primerjave gladin med normalnim obratovanjem in v času izredno visokih voda, se tako gladina zgornje kot spodnje vode zelo dvigne. Pri tem je vseeno potrebno opozoriti, da so realne gladine lahko drugačne, saj so zgoraj zapisane gladine rezultat hidravličnega modela, ki ni bil umerjen. Z natančno geodetsko izmero območja in umerjenim hidravličnim modelom se vrednosti lahko spremenijo, kar je potrebno upoštevati pri detaljnem dimenzioniranju objektov mHE.

3.11.1 Zasnova objektov in delovanja mHE

Lokacijsko je objekte mHE potrebno umestiti med jezo HE Soteska in ribjim prehodom tako, da je vtok v turbine ločen od izhoda iz ribjega prehoda in da se iztočni kanal mHE zaključi v zadnjem bazenu ribjega prehoda, ker s tem povečamo atrakcijo na vhodu v ribji prehod. Umestitev objektov mHE v prostor je prikazana na prilogi G, kjer je prikazan tudi tlorsni potek ribjega prehoda in omejitve v prostoru, ki so bile upoštevane pri umeščanju objektov v prostor.

Tako kot v primeru večjih hidroelektrarn je tudi v primeru zasnove mHE za njeno optimalno delovanje potrebno dimenzionirati nekatere obvezne gradnike mHE. Odzemni objekt predstavlja jez HE Soteska. Potrebno pa je dimenzionirati dovodni kanal z rešetkami, objekt strojnice in njene notranje elemente (turbino, generator, vzporedni izpust, lopute), dovodni kanal ter priključek na izhod iz ribjega prehoda.

3.11.1.1 Dovodni kanal s fino rešetko

Dovod vode v strojnico mHE bi bil urejen po odprtem pravokotnem dovodnem kanalu ustreznih dimenzij za prevajanje pretoka Q_{mhe} . Vloga 5 m dolgega in 1 m širokega dovodnega kanala bi bila dodatna umiritev hitrosti vodnega toka in usedanje grobih do finih delcev. Pred vtokom vode v strojnico bi bile nameščene fine rešetke, ki bi preprečile vtok plavja v turbino. Rešetke bi se čistilo ročno, po potrebi pa bi se vgradil avtomatski čistilni stroj. Poleg tega bi rešetke ribam preprečevale, da bi jih odneslo dolvodno v turbino. V kolikor bi bila potrebna natančnejša regulacija pretoka, bi bilo na dovodnem kanalu potrebno namestiti tudi zapornico (npr. tablasto).

3.11.1.2 Strojnica

Zasnovo strojnice mHE smo izdelali s pomočjo strokovnjakov iz podjetja HYDRO HIT, ki imajo izkušnje z načrtovanjem podobnih turbin za izrabo ekološko sprejemljivih pretokov.

Za primere, kjer ni velikega nihanja zgornje in spodnje gladine vode ter pretoka, so najprimernejše cevne turbine (Hočevnar in Dular, 2015). Tako se te pogosto uporabljajo kot agregati, ki izkoriščajo biološki minimum (ekološko sprejemljivi pretok). Možna je tudi uporaba take turbine na dovodu vode v ribje drstišče kot je to v primeru mHE Vrhovo (slika 52). Pri mHE Vrhovo gre pravzaprav mHE, ki je dimenzionirana za podobne robne pogoje kot je to v primeru mHE ob HE Soteska:

- Tehnični podatki mHE Vrhovo (<http://www.sel.si/MHE-vrhovo>):
 - konstanten pretok vode: 0,5 m³/s,
 - razpoložljiv padec vode: 5,55 m
 - propelerska turbina
 - moč mHE na sponkah generatorja: 22 kW



Slika 52: Strojnica mHE Vrhovo s cevno turbino in generatorjem (<http://nep.vitra.si/ukrep.php?fid=1648&id=150>)

Tako je v primeru mHE ob HE Soteska smiselno zasnovati agregat (vodna turbina in generator kot skupen element mHE) podobnih karakteristik kot je izveden na mHE Vrhovo, s tem da gre pri Soteski za nekoliko manjši padec in večji konstantni pretok vode.

Glede izbora agregata je bilo pregledanih več variant. Variante so bile preverjene glede na:

- konstanten pretok,
- padec,
- moč,
- razpoložljiv prostor in
- vrtljaje turbine.

Na osnovi vseh teh parametrov se pokaže kot najoptimalnejši agregat s cevno propelerno turbino. Možna bi bila vgradnja tudi Francis ali Banki turbine, vendar bi vrtljaji teh dveh turbin bili 500 obr/min, kar potegne za seboj večji in dražji generator ali vgradnjo multiplikatorja. Ravno tako bi vgradnja zavzela več prostora.

Ker je pretok konstanten, ni potrebna regulacija pretoka, tako je smiselna umestitev turbine brez vodilnika. Pred turbino bi bila predturbinska loputa premera 600mm z električnim pogonom in v primeru nedelovanja tudi z možnostjo ročnega pogona. Zapiranje predturbinske lopute je možno tudi pod pretokom. Predvidena je vgradnja cevne propelerske vertikalne turbine brez regulacije vrtljajev oziroma pretoka.

Vzporedno ob turbini je načrtovan vzporedni izpust (»bypass«). Ob zaustavitvi turbine se avtomatsko odpre pregrajeni vzporedni izpust sestavljen iz cevovoda in lopute premera 350 mm. Loputa bi bila gnana z elektromotornim pogonom. Vzporedni izpust mora delovati v primerih nedelovanja turbine, saj mora tudi v takšnem primeru skozi strojnico teči pretok $Q_{mhe} = 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$, saj ta predstavlja del ekološkega sprejemljivega pretoka, ki mora biti zagotovljen v dolvodni strugi v času manjših pretokov Save Bohinjke. Ter tudi zaradi tega, ker je celotni Q_{es} prevelik, da bi ga lahko v primeru izpada mHE vodili skozi ribji prehod (tehnično je možno, da bi bilo to mogoče, prehodnost prehoda pa bi bila v tem primeru nična).

Pomembno je, da turbina mHE ne bi delovala v času, ko bi deloval srednji del ribjega prehoda, ko ribe iz prehoda izplavajo skozi spodnji nižji izhod, ki je lociran ob vtoku v dovodni kanal mHE. To lahko dosežemo s tem, da je predturbinska loputa vodena tudi glede na gladino zgornje vode v zajezbi. Tako bi se v primeru nižjih glavin zgornje vode (takrat začne delovati srednji del ribjega prehoda in spodnji izhod) predturbinska loputa zaprla, Q_{mhe} pa bi se prevajal skozi vzporedni izpust.

Da bi strojnico in njene notranje elemente zaščitili pred vplivom visokih voda – dviga spodnje in zgornje gladine, možnost poplavitve strojnice, je potrebno strojnico zgraditi iz vodoneprepustnih betonov, na zunanji strani pa zasnovati drenažni sloj, iz katerega bi bila voda speljana v iztočni kanal in drenažni jašek. V drenažnem jarku bi bila nameščena črpalka, ki bi vodo iz jaška črpala v dolvodno strugo.

Elementi strojnice so prikazani v prilogi H.

3.11.1.3 Iztočna cev z rešetko na iztoku

Iztočna cev vodi vodo od iztoka iz sesalne cevi do zadnjega bazena spodnjega dela ribjega prehoda. V tem bazenu se združita obratovalni pretok ribjega prehoda in pretok iz mHE. V času normalnega obratovanja HE Soteska in ko so pretoki Save Bohinjke manjši od $20,1 \text{ m}^3/\text{s}$, je združen pretok, ki teče iz ribjega prehoda, edini pretok v profilu jezu. Vhod v ribji prehod je

načrtovan pod kotom 30° glede na os dolvodne struge, kar po priporočilih iz literature še omogoča optimalno zaznavanje toka, ki teče iz prehoda. Tako naj bi bila zagotovljena zelo dobra atrakcija v času manjših pretokov Save Bohinjke, ko v profilu jezu ni drugih konkurenčnih pretokov, prav tako pa bi bila s tem zagotovljena dobra atrakcija v času, ko se del pretoka Save Bohinjke preliva čez krono jezu.

Na mestu iztoka mHE v ribji prehod je predvidena namestitev finih rešetak (širina okenc največ 2,5 cm), da ne bi ribe namesto naprej gorvodno po ribjem prehodu plavale v iztočno cev mHE. Zaradi rešetke lahko pride do minimalnega vpliva na višino spodnje vode.

3.11.2 Izračun nazivne moči mHE

Moč turbine (P_t) izračunamo po naslednji enačbi:

$$P_t = g \times \rho \times Q \times H_{neto} \times \eta \quad (9)$$

- P_t - moč turbine [W]
- g - gravitacijski pospešek = 9,81 [m/s²]
- ρ - gostota vode = 1000 [kg/m³]
- Q - pretok vode možen za odvzem [m³/s]
- H_{neto} - neto višinska razlika z upoštevanjem hidro-dinamskih izgub na sistemu [m]
- η - izkoristek turbine

Za H_{neto} smo zaradi poenostavitve izračuna privzeli kar višinsko razliko med gladinama zgornje in spodnje vode brez upoštevanja hidro-dinamskih izgub na sistemu ($\Delta H = 5$ m). Izkoristek turbine znaša 0,9. Pretok vode (Q) pa znaša 0,7 m³/s. Izračunana moč turbine (P_t) tako znaša **30,9 kW**.

Moč male hidroelektrarne (P_{mHE}) pa je odvisna tudi od izkoristka generatorja (η_g) in se izračuna po enačbi:

$$P_{mHE} = P_t \times \eta_g \quad (10)$$

Za vgradnjo je predviden generator z močjo 30 kW, 400V in 750 obr/min ter 0,92 izkoristkom. Izračunana moč male hidroelektrarne (P_{mHE}) tako znaša **28 kW**.

3.11.3 Ekonomska analiza zasnove mHE

3.11.3.1 Aproksimativni predračun investicijskih stroškov

V prilogi I smo pripravili aproksimativni predračun investicijskih stroškov izgradnje mHE. Skupna ocenjena vrednost investicije izgradnje mHE znaša **79.000 EUR**. Specifično vlaganje (investicijski strošek [EUR] / moč mHE [kW]) znaša 2821 EUR/kW, specifična proizvodnja (investicijski strošek [EUR] / letna proizvodnja [kWh]) pa 0,34 EUR/kWh.

3.11.3.2 Ocena letne proizvodnje in dobička

Ocena letne proizvodnje bazira na osnovi konstantnega pretoka in razpoložljivega padca. Predvidevamo, da bo zaradi minimalnega vzdrževanja elektrarna obratovala 8.200 ur na leto. Tako znaša povprečna letna proizvodnja: 8.200 h x 28 kW = **230.000 kWh**.

Odkupne cene električne energije ni mogoče vnaprej natančno določiti. Pri proizvodnji električne energije iz obnovljivih virov energije je mogoče pridobiti podporo v obliki finančne pomoči, ki nato za neko obdobje trajanja določa odkupno ceno elektrike. Od 24. novembra 2016 je v veljavi nova Uredba o podporah elektriki, proizvedeni iz obnovljivih virov energije in v soproizvodnji toplote in elektrike z visokim izkoristkom (Uradni list RS, št. 74/16, v nadaljevanju uredba o podporah), na podlagi katere investitorji na javnem pozivu kandidirajo z lastno ponujeno ceno za projekt, torej višina podpore ni vnaprej določena, kot je to bilo pred uveljavitvijo nove uredbe o podporah in je odvisna od ponujene cene s katero investitor kandidira na javnem pozivu. Za odkupno ceno električne energije proizvedene v mHE Soteska smo privzeli vrednost 100 EUR/MWh, ki je bila določena glede na projekte s podobno nazivno močjo iz seznama izbranih projektov prvega javnega poziva, objavljenega junija 2017 na spletni strani Agencije za energijo.

Pri predvideni letni proizvodnji električne energije **230 MWh/leto** bi znašal letni prihodek mHE Soteska **23.000 EUR**. Pri tem ne upoštevamo stroškov vzdrževanja ali popravil, katere je prav tako težko predpostaviti.

3.12 DOLDOVNE MIGRACIJE NA ODSEKU

Ocenjujemo, da bi bila dolvodna migracija omogočena v času višjih pretokov Save Bohinjke, ko se del pretoka preliva čez krono jezu, pri tem pa ne pride do višjih padcev vode, saj je jez izveden v kaskadni obliki. Eventualno je dolvodno migracija mogoča tudi preko ribjega prehoda za gorvodne migracije. To bi bilo mogoče potrditi šele po izvedenem monitoringu delovanja ribjega prehoda.

Pri dolvodnih migracijah rib moramo posebno pozornost nameniti tudi zaščiti rib pred vtokom v turbine. Različne načine zagotavljanja zaščite smo opisali v poglavju 2.10.1. Grobe rešetke na vtoku v dovodni kanal HE Soteska (slika 35), ki imajo vlogo zaščite dovodnega kanala pred vtokom večjega plavja, niso primernih dimenzij za ustavitev rib pred plavanjem v dovodni kanal. Vseeno bi namestitev finejših rešetak verjetno vodila v izrazito povečanje hidravličnih izgub na vtoku, zato namestitve le teh ne priporočamo. Ocenjujemo, da trenutne fine rešetke na zaključku dovodnega kanala, tik pred vtokom vode v turbine, zadovoljivo onemogočajo plavanje oziroma odplavljanje rib v območje strojnice in turbin (slika 52).



Slika 53: Fine rešetke pred vtokom v turbine HE Soteska

3.13 ANALIZA INVESTICIJSKIH STROŠKOV CELOVITE UREDITVE PREHODNOSTI NA ODSEKU JEZU HE SOTESKA

V prilogi J je prikazan okvirni izračun investicijskih stroškov izgradnje ribjega prehoda razdeljen na posamezne dele prehoda. Ocenili smo, da bi celotni investicijski strošek izgradnje zasnovanega ribjega prehoda (variante B) znašal **176.295 EUR**. Pri tem smo upoštevali tudi strošek izdelave detajlnega hidravličnega modela za celotni odsek urejanja prehodnosti ob jezu HE Soteska in izgradnjo manjšega mostu čez ribji prehod za dostop do mHE in jezu.

Pri stroškovni analizi celovite ureditve prehodnosti na odseku jezu HE Soteska smo predpostavili, da bi se ureditev odseka glavne struge, izgradnja ribjega prehoda in izgradnja mHE izvajali v okviru enega projekta, sočasno oziroma v sosledju v enem daljšem časovnem obdobju. To lahko zmanjša celotni strošek izgradnje zaradi naslednjih razlogov:

- podobna dela na različnih odsekih lahko izvajajo s strojno opremo in strokovnjaki, ki so že na območju,
- prihranimo lahko pri nabavi in dostavi gradbenega materiala, saj se material iz odseka izkopa lahko uporabi za zasip oziroma vgradnjo na drugem odseku,
- dovozne poti se uredi za celotno območje naenkrat,
- enkratni večji odlov rib,

V spodnji preglednici so prikazani investicijski stroški posameznih delov ureditve prehodnosti na odseku jezu HE Soteska.

Preglednica 37: Investicijski stroški posameznih delov ureditve prehodnosti za vodne organizme na odseku jezu HE Soteska

Poseg	Investicijski strošek
Ureditev odseka glavne struge	111.900 EUR
Izgradnja ribjega prehoda	176.295 EUR
Izgradnja male hidroelektrarne	79.000 EUR
Skupni investicijski strošek	367.195 EUR

Celotni okvirni investicijski strošek ureditve prehodnosti na odseku jezu HE Soteska znaša 367.195 EUR. V kolikor predpostavimo, da bi letni prihodek proizvodnje električne energije v mHE znašal 23.000 EUR, lahko vidimo, da bi se celotni investicijski strošek zasnovane ureditve prehodnosti na odseku, med katero je upoštevana tudi izgradnja mHE, povrnil v približno 16 letih.

V okviru predlagane zasnove ni oportunitetnih stroškov zaradi morebitne zmanjšane proizvodnje električne energije v HE Soteska, ker je za delovanje ribjega prehoda in mHE načrtovana izraba ekološko sprejemljivega pretoka na jezu HE Soteska, ki v obstoječem stanju ostaja neizkoriščen. Pri stroškovni analizi celovite ureditve prehodnosti na odseki jezu HE Soteska nismo upoštevali stroškov vzdrževanja in obratovanja ribjega prehoda in mHE ter morebitnega vzdrževanja odseka glavne struge.

4 ZAKLJUČEK

Slovenija se je s podpisom Bonnske in Bernske konvencije (opisane v poglavju 2.2) zavezala, da bo strmel na zagotavljanje selitev vodnih organizmov. Kot država članica Evropske Unije pa mora izpolnjevati tudi izhodišča iz področja upravljanja voda, od katerih so najpomembnejša zapisana v Okvirni direktivi o vodah. S prenosom vsebine konvencij in evropskih direktiv v slovenske pravne akte pa je zagotavljanje prehodnosti za vodne organizme v Sloveniji tudi zakonodajno utemeljeno.

Načrtovanje ukrepov za izboljšanje prehodnosti je interdisciplinaren proces, pri katerem je potrebno sodelovanje strokovnjakov iz različnih strok. Na tak način je bila izdelana tudi zasnova ureditve prehodnosti za vodne organizme na Savi Bohinjki pri jezu HE Soteska, saj smo pri načrtovanju sodelovali tako s strokovnjaki iz področja ihtiologije kot strojništva.

Idejna zasnova ureditve prehodnosti na odseku jezu HE Soteska je bila izdelana na podlagi teoretičnih izhodišč podanih v prvem delu magistrskega dela. Z upoštevanjem teh teoretičnih izhodišč, ki predstavljajo izbor priporočil, mejnih in priporočljivih vrednosti iz sodobnih smernic tujih avtorjev, je mogoče načrtovati učinkovite ukrepe za zagotavljanje prehodnosti na novo zgrajenih vodnogospodarskih objektih ter ukrepe za izboljšanje neprehodnosti na že obstoječih neprehodnih objektih.

Po seznanitvi s problematiko neprehodnosti odseka HE Soteska, pridobitvi informacij o elementih in delovanju HE Soteska, terenskem ogledu odseka in oceni mogočih ukrepov za izboljšanje prehodnosti na odseku smo ocenili, da je najustreznejši ukrep izgradnja ribjega prehoda. V naslednji fazi načrtovanja smo pridobili podatke o vodnih organizmih na obravnavanem območju. Podatke smo pridobili iz javno dostopnih baz ribiškega katastra, ki ga vodi ZZRS. V fazi pridobivanja podatkov o vodnih organizmih smo sodelovali tudi s strokovnjaki ihtiologije iz ZZRS. Obravnavani odsek naseljuje 12 ribjih vrst z različnimi fizičnimi karakteristikami in plavalnimi sposobnostmi. Prednostno smo pri načrtovanju upoštevali avtohtone ribje vrste, na podlagi katerih so bili v naslednji fazi določeni ihtiološki dejavniki dimenzioniranja ribjega prehoda. Najmanjši ribji vrsti na odseku sta blistavec in pisanec, največja pa sulec. Glede na ribjo sestavo in morfologijo rečne struge obravnavani odsek spada v območje spodnjega postrvkega pasu in lipanskega pasu. Podrobneje smo analizirali tudi obdobja drstitev posameznih ribjih vrst in ugotovili, da največ selitev zaradi drstitev povprečno poteka med marcem in julijem, pomembno pa je tudi obdobje drstitve potočne postrvi od novembra do januarja.

V fazi hidrološko-hidravlične analize območja je bilo ugotovljeno, da se za delovanje ribjega prehoda lahko izkoristi ekološko sprejemljivi pretok (Q_{es}), katerega vrednost določa veljavno vodno dovoljenje za delovanje HE Soteska. Iz izdelanih krivulj trajanja pretokov Save Bohinjke je mogoče ugotoviti, da je na obravnavanem odseku pretok Save Bohinjke tudi v sušnem teoretičnem ali realnem letu vedno večji od Q_{es} . Zadostna količina in konstantnost pretoka Q_{es} pomeni, da za delovanje ribjega prehoda ne potrebujemo dodatnih količin pretoka, s katerimi bi v nasprotnem primeru zmanjšali pretok, ki teče na obstoječo HE Soteska. Ob obravnavi problematike prehodnosti na tem odseku smo na podlagi terenskega ogleda in izdelanega hidravličnega modela ugotovili, da bi bilo za ustrezno izboljšanje prehodnosti na celotnem obravnavanem odseku, zaradi vpliva delovanja derivacijske hidroelektrarne, potrebno najprej

izboljšati prehodnost dolvodnega odseka glavne struge. Izdelana je bila zasnova, ki predvideva postavitev jezbic in talnih pragov ter poglobitev dela struge.

Pri izbiri tipa ribjega prehoda smo upoštevali vse relevantne robne pogoje. Na podlagi teh robnih pogojev smo določili dve možni varianti zasnove ribjega prehoda. Analiza obeh variant je pokazala, da je najustreznejša varianta B, ki predvideva izgradnjo ribjega prehoda, ki ga sestavljajo spodnji in srednji tehnični bazenski tip z vertikalnimi režami z prvim izhodom na nižji višini (ki bi deloval v času nižjih gladin zgornje vode) ter sonaravni-tehnični bazenski tip z izhodom na višji višini (ki bi deloval v času, ko je zgornja gladina na višini normalne obratovalne kote HE Soteska). Opravljena je bila hidravlična analiza delovanja ribjega prehoda. Na podlagi te analize in prej določenih ihtioloških pogojev so bile določene dimenzije elementov ribjega prehoda. Ribji prehod smo z ozirom na prepoznane omejitve v prostoru umestili v prostor in izvedli okvirni izračun investicijskih stroškov izgradnje ribjega prehoda.

Za zagotavljanje dodatne atrakcije na vhodu v ribji prehod in izrabo dela ekološko sprejemljivega pretoka smo ob izgradnji ribjega prehoda predvideli tudi izgradnjo mHE. S pomočjo strokovnjakov iz podjetja HYDRO HIT d.o.o. smo izdelali zasnovo mHE, ki bi s cevno propelerno turbino izkoriščala konstantni del pretoka Q_{es} za proizvodnjo električne energije. Pri tem smo upoštevali pogoj, da mHE s svojim obratovanjem ne vpliva negativno na delovanje ribjega prehoda ter, da je iztok iz mHE načrtovan tako, da je povezan z vhodom ribjega prehoda, kar omogoča izboljšanje zaznavnosti ribjega prehoda. Izdelali smo aproksimativni predračun investicijskih stroškov izgradnje male hidroelektrarne ter ocenili količino letne proizvodnje električne energije in potencialni letni prihodek.

Z analizo investicijskih stroškov celovite ureditve prehodnosti na odseku jezu HE Soteska smo ugotovili, da bi se celotni investicijski strošek zasnovane ureditve prehodnosti na odseku, ob upoštevanju izgradnje in delovanja mHE, povrnil v okvirno 16 letih.

Menimo, da bi z izvedbo načrtovane zasnove ureditve odseka v prvi vrsti učinkovito izboljšali prehodnost za vodne organizme na obravnavanem območju, kar bi neposredno vodilo tudi v izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotoka. Poleg tega pogoji na odseku omogočajo izvedbo takšnega ribjega prehoda, ki s svojim delovanjem bistveno ne vpliva na delovanje obstoječe HE Soteska. Obenem pa bi z izgradnjo mHE ob ribjem prehodu najprej pozitivno vplivali na učinkovitost delovanja ribjega prehoda, poleg tega pa bi s proizvodnjo električne energije lahko v nekaj letih pokrili celotni strošek investicije celovite ureditve prehodnosti za vodne organizme na Savi Bohinjki pri jezu HE Soteska.

Na koncu bi radi opozorili, da je pred eventualnim dejanskim posegom na odseku jezu HE Soteska, v kolikor je to mogoče, potrebno pridobiti natančnejše hidrološke podatke (tudi iz strani upravljalca obstoječe HE Soteska), s katerimi bilo mogoče natančno umerjanje izdelanega hidravličnega modela. Pred posegi na obravnavanem območju pa je potrebno izvesti tudi detajlno geodetsko izmero območja in preveritev karakterističnih kot, privzetih iz projektne dokumentacije.

5 VIRI

ARSO. 2017. Vode – mesečne statistike. ARSO.

http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/hidroloski_arhiv.html (Pridobljeno 11. 3. 2017.)

Beamish, F.W., H. 1978. Swimming Capacity. In Fish Physiology. W.S. Hoar. London, Academic Press: str. 101–187.

BIOS. 2017. Biološka zbirka podatkov Zavoda za ribištvo Slovenije. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Zavod za ribištvo Slovenije. Spletna aplikacija.

<http://www.biosweb.org/> (Pridobljeno 10. 3. 2017.)

Blatnik, Š., Blaž, I., Hren, B., Klun, M., Koranter, T., Lavrač, R., Šoško H., Ogorelec, Ž., Okršlar, G., Weisseisen, M. 2015. Ocena stanja in predlogi izboljšav za prehodnost vodnih organizmov na zgornji Savi. Po kreativni poti do praktičnega znanja. Ljubljana, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, Javni sklad Republike Slovenije za razvoj kadrov in štipendije: 91 str.

Blažeka, M. 1994. HE Soteska na Savi Bohinjki, Projekt za razpis – PZR. Maribor, Elektroprojekt Ljubljana: 17 str.

BMLFUW. 2012. Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen. Dunaj, Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: 102 str.

Brilly, M., Vidmar, A., Zabret, K. 2015. Ljubljana povezuje. Projekt LIFE10NAT/SI/142: Obnovitev koridorja Ljubljane in izboljšanje rečnega vodnega režima. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 12 str.

Chanson, H. 1996. Some hydraulic aspects during overflow above inflatable flexible membrane dam. Report CH47/96. Brisbane, Department of Civil Engineering, University of Queensland: 62 str.

Ciuha, D., Povž, M., Kvaternik, K., Brenčič, M., Muck., P. 2014. Zasnova in tehnične rešitve prehodov za vodne organizme pri pregradah HE na spodnji Savi s poudarkom na prehodu HE Arto Blanca. V: 25. Mišičev vodarski dan 2014: str. 228-236.

<http://mvd20.com/LETO2014/R34.pdf> (Pridobljeno 2. 2. 2017.)

Cote, D., Kehler, G. D., Bourne, C., Wiersma, F. Y. 2009. A new measure of longitudinal connectivity for stream networks. Landscape Ecology 24: 101-113.

DWA. 2005. Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle DWA-Themen: 256 str.

DWA. 2014. Merkblatt DWA-M 509 - Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung: 334 str.

Dussling, U., Berg, R., Klinger H., Wolter, C. 2004. Assessing the Ecological Status of River Systems Using Fish Assemblages. *Hanbuch Angewandte Limnologie*. Landsberg am Lech, Deutsche Bibliothek: str. 3-81.

FAO/DVWK. 2002. Fish passes – Design, dimensions and monitoring. Technical paper. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) in arrangement with Deutscher Verbant für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK): 118 str.

Frantar, P. 2003. Pretočni režimi na reki Savi in njihove spremembe med obdobjem 1961-1990 in 1991-2000. V: 14. Mišičev vodarski dan 2003: str. 133-141.

<http://www.mvd20.com/LETO2003/R21.pdf> (Pridobljeno 12. 3. 2017.)

IDNR. 2006. How to control Streambank erosion. Kansas City, Iowa Department of Natural Resources (IDNR): 47 str.

Jens, G., Born, O., Hohlstein, R., Kämmerleit, M., Klupp, R., Labatzki, R., Mau, G., Seifert, K. & Wondrak, P. 1997. Fischwanderhilfen – Notwendigkeit, Gestaltung, Rechtgrundlagen, *Številka 11*: 112 str.

Katopodis, C. 1992. Introduction to Fishway Design. Report to freshwater Institute, Central and Arctic Region, Department of Fisheries and Ocean, Manitoba: 68 str.

Kobold, M., Dolinar, M., Frantar, P. 2012. Spremembe vodnega režima zaradi podnebnih sprememb in drugih antropogenih vplivov. V: I. Kongres o vodah Slovenije 2012: str. 7-22.

http://ksh.fgg.uni-lj.si/kongresvoda/03_prispevki/01_vabljeniZnanstStrok/01_Kobold.pdf

(Pridobljeno 28. 4. 2017.)

Kolman, G., Mikoš, M., Povž, M. 2010. Ribji prehodi na hidroenergetskih pregradah v Sloveniji. *Varstvo narave*, 24: 85-96.

Kolman, G. 2014. Ribe in vzdolžna povezanost vodotokov na porečju Sore. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba G. Kolman): 119 str.

Kryžanowski, A. 2017. Število velikih hidroenergetskih pregrad v Sloveniji. Osebna komunikacija. (21. 8. 2017.)

Larinier, M. 1992. Implantation des passes à poissons. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 326/327: 30-44.

Larinier, M. 2000. Dams and Fish Migration. World Commision on Dams. Final Draft . Environmental Issues, Dams and Fish Migration. Toulouse, France, Institut de Mecanique des Fluides: 26 str.

Larinier, M. 2002. Location of fishways. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 364: 39-53.

Larinier, M., Travade, F. 2002. Downstream Migration. Problems and Facilities. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 365 suppl.: 181–207.

Hočevar, M., Dular, M. 2015. Uvod v hidroenergetske sisteme. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo: 156 str.

Lucas, M., Baras, E. 2001. Migration of Freshwater Fishes. Oxford, Blackwell Science: 420 str.

Marmulla, G. 2001. Dams, fish and fisheries. Opportunities, challenges and conflict resolution. Technical report. No. 419. Rome, Italy, FAO Fisheries Department: 166 str.

Mikoš, M. 2000. Urejanje vodotokov. Skripta, verzija 01.2000. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 182 str.

Osnutek Načrta upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja za obdobje 2015 – 2021.

http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/voda/nacrt_upravljanja_voda/

(Pridobljeno 9. 10. 2016.)

Pavlov, D.S. 1989. Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: USSR. FAO, Rome: 97 str.

Pavlov, D.S., Lupandin, A.I. ter Skorobogatov, M.A. 2000. The effects of flow turbulence on the behavior and distribution of fish. J. Ichthyology 40, Suppl. 2: 232–261.

Povž, M., Kryžanowski, A. 2005. Ribje steze kot naravovarstveni ukrep za ohranjanje biodiverzitete v reki Savi – Slovenija. V: Kryžanowski, A. (ur.), Sedej, A. (ur.). Tehnična in okoljska problematika gradnje verige HE na Spodnji Savi. Sevnica, april 2005 (7. Posvetovanje SLOCOLD). Ljubljana, Slovenski nacionalni komite za velike pregrade: str. 65 – 76.

Pušnik, M., Mikoš, M., Smolar-Žvanut, N. 2010. Ocena vplivov malih hidroelektrarn na okolje z uporabo večkriterijske analize. V: 21. Mišičev vodarski dan 2010: str. 61-67.

<http://mvd20.com/LETO2010/R10.pdf> (Pridobljeno 20. 4. 2017.)

Ravnikar Turk, M., Širca, A., Četina, M., Kryžanowski, A., Humar, N. 2014. Preventivni ukrepi za zagotavljanje varnosti pregrad.V: Naravne nesreče 3, (Ne)prilagojeni. Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU: str. 73-81.

RibKat. 2017. Ribiški kataster. Analitični modul. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Zavod za ribištvo Slovenije. Spletna aplikacija.

<http://www.ribkat.mkqp.gov.si> (Pridobljeno 3. 3. 2017.)

Ruprecht, N. 2015. Prehajanje rib v ribji stezi na Ambroževem trgu. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba N. Ruprecht): 81 str.

Schmutz, S., Mielach, C. 2013. Measures for ensuring fish migration at transversal structures. Technical paper. Vienna, Austria, International Commission for the Protection of the Danube River: 50 str.

Seifert, K. 2012. Praxishandbuch „Fischaufstiegsanlagen in Bayern“, on behalf of the Landesfischereiverband Bayern and the Bayerisches Landesamt für Umwelt: 150 str.

Smolar-Žvanut, N., Povž, M., Kryžanowski, A. 2005. Vpliv zajezitev in odvzemov vode iz vodotokov na vodni ekosistem. V: Kryžanowski, A. (ur.), Sedej, A. (ur.). Tehnična in okoljska problematika gradnje verige HE na Spodnji Savi. Sevnica, april 2005 (7. Posvetovanje SLOCOLD). Ljubljana, Slovenski nacionalni komite za velike pregrade: str. 61 – 64.

Sodnik, J. 2010. Sava Bohinjka – Sanacija leve brežine pri HE v Soteski. Projekt vzdrževalnih del, tehnično poročilo sanacije struge. Kranj, Vodnogospodarsko podjetje d.d. Kranj: 6 str.

Špacapan, B. 2014. Implementacija okvirne direktive o vodah v Sloveniji in na Švedskem. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba B. Špacapan): 96 str.

Technical Supplement 14N. Fish Passage and Design. 2007. Part 654. S. I., National Engineering Handbook. 210-VI-NEH: 49 str.

Thorncraft, G., Harris, J.H. 2000. Fish Passage and Fishways in New South Wales. Status Report. Technical report. S. I., Cooperative research Centre for freshwater Ecology: 32. str.

Tome, D. 2006. Ekologija: organizmi v prostoru in času. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 344 str.

Trobec, T. 2010. Sava Bohinjka. DEDI - digitalna enciklopedija naravne in kulturne dediščine na Slovenskem.
<http://www.dedi.si/dediscina/353-sava-bohinjka> (Pridobljeno 5. 3. 2017.)

Zabric, D., Čarf, M., Jenič, A., Puklavec, D., Bric, B., Šantl, S. 2014. Prehodnost je naša prihodnost. Aktualni projekti s področja upravljanja z vodami in urejanje voda. V: 25. Mišičev vodarski dan: str. 219-227.
<http://mvd20.com/LETO2014/R33.pdf> (Pridobljeno 8. 10. 2016.)

Zakotnik, M. 2014. Pregled inženirsko bioloških metod v sonaravnem urejanju vodotokov. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (samozaložba M. Zakotnik): 66 str.

Zorič, Z., Horvat, M. 2012. Sanacija poškodb na Savi Bohinjki od Broda do Laškega rovta. V: 23. Mišičev vodarski dan 2012: str. 197-205.
<http://mvd20.com/LETO2012/R24.pdf> (Pridobljeno 8. 5. 2017.)

ZZRS (Zavod za ribištvo Slovenije). 2014. Popis drstišč sulca. Ljubljana, Zavod za ribištvo Slovenije: 7 str.

ZZRS (Zavod za ribištvo Slovenije). 2016. Načrt ribiškega upravljanja v gornjesavskem ribiškem območju za obdobje 2017-2022. Ljubljana, Zavod za ribištvo Slovenije: 79 str.

Pravni akti:

Bonska konvencija. 1979. Bonn, Konvencija o varstvu selitvenih vrst prostoživečih živali.

Bernska konvencija. 1979. Bern, Konvencija o varstvu prosto živečega evropskega rastlinstva in živalstva ter njunih naravnih življenjskih prostorov.

Pravilnik o določitvi odsekov površinskih voda, pomembnih za življenje sladkovodnih vrst rib. Uradni list RS št. 28/2005 z dne 18. 3. 2005.

Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka. Uradni list RS št. 97/2009, z dne 19. 11. 2009.

Zakon o cestah (ZCes-1). Uradni list RS št. 109/10, 48/12, 36/14 – odl. US in 46/15, z dne 20. 11. 2010.

Zakon o ohranjanju narave (ZON). Uradni list RS št.96/2004 z dne 30. 8. 2004.

Zakon o sladkovodnem ribištju (ZSRib). Uradni list RS št. 61/2006 z dne 13. 6. 2006.

Zakon o varnosti v železniškem prometu (ZVZeIP). Uradni list RS št. 56/13 – uradno prečiščeno besedilo, 91/13, 82/15, 84/15 – ZZeIP-J in 85/16, z dne 22. 6. 2007.

Zakon o vodah (ZV-1). Uradni list RS št. 67/2002, z dne 26. 7. 2002.

PRILOGE

- PRILOGA A: Situacija – idejna zasnova ureditve odseka glavne struge
- PRILOGA B: Ocena stroškov investicije ureditve odseka glavne struge
- PRILOGA C: Rezultati hidravlične analize variante A – bazenskega tipa z vertikalnimi režami
- PRILOGA D: Karakteristični prerezi spodnjega dela ribjega prehoda variante B – bazenski tip z vertikalnimi režami
- PRILOGA E: Vzдолžni prerez srednjega dela ribjega prehoda variante B – bazenski tip z vertikalnimi režami
- PRILOGA F: Karakteristični prerez zgornjega dela ribjega prehoda variante B – sonaravni bazenski tip
- PRILOGA G: Situacija umestitve objektov ribjega prehoda in mHE v prostor, z upoštevanjem omejitev v prostoru
- PRILOGA H: Idejna zasnova mHE – prerez strojnice
- PRILOGA I: Ocena stroškov investicije izgradnje male hidroelektrarne
- PRILOGA J: Ocena stroškov investicije izgradnje ribjega prehoda